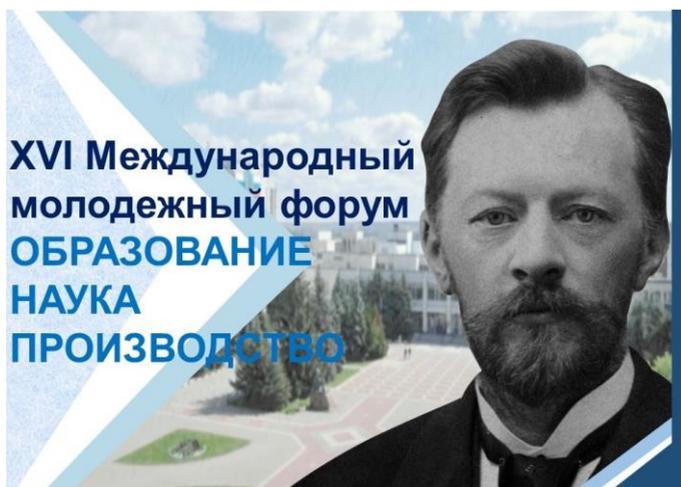


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»



Сборник докладов

Часть 11

**Повышение качества, энерго- и ресурсосбережение в производстве
силикатных и композиционных материалов**

Белгород

30-31 октября 2024 г.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

**XVI Международный молодежный форум
«Образование. Наука. Производство»
[Электронный ресурс]:**
Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – Ч. 11. – 64 с.

ISBN 978-5-361-01390-6

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения XVI Международного молодежного форума «Образование. Наука. Производство». Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48

ISBN 978-5-361-01390-6

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2024

Акименко А.В., Солгалов В.В.

*Научный руководитель: Ястребинский Р.Н., канд. физ.-мат. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К МОДИФИКАЦИИ ГИДРИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЯДЕРНЫХ И ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Гидрид циркония (ZrH_2) – материал, обладающий уникальными свойствами, такими как высокая плотность водорода и отличная термическая стабильность. Эти характеристики делают его перспективным материалом для использования в ядерной энергетике и водородных технологиях. Для повышения эффективности и расширения областей применения необходимы инновационные методы модификации его структуры и свойств. В данной статье мы рассмотрим три основных метода модификации гидрида циркония: ультразвуковую обработку, легирование и наноструктурирование [1, 2].

Ультразвуковая обработка подразумевает воздействие высокочастотных звуковых волн на материал, что вызывает кавитацию. Кавитация — это процесс образования и затем схлопывания пузырьков в жидкости, который приводит к созданию локальных условий с экстремальными параметрами давления и температуры. Это воздействие способствует измельчению зерен и формированию более однородной микроструктуры гидрида циркония.

Преимущества ультразвуковой обработки:

1. Улучшение микроструктуры. Ультразвуковая обработка способствует уменьшению размера зерен, что повышает устойчивость материала к деформациям и износу. Это особенно важно для использования в условиях высоких температур и давлений, характерных для ядерных реакторов.

2. Повышение термостойкости. Изменение микроструктуры и уменьшение дефектов в кристаллической решетке способствуют повышению термостойкости материала. Это позволяет гидриду циркония сохранять свои свойства при более высоких температурах.

3. Улучшение коррозионной стойкости. Повышенная однородность структуры снижает коррозионные процессы, что особенно важно для длительной эксплуатации в агрессивных средах [3-5].

Легирование предполагает добавление в состав гидрида циркония различных веществ, которые могут изменить его электронную структуру и, следовательно, улучшить механические и термодинамические характеристики. Добавление титана приводит к повышению прочности и термостабильности. Это делает материал более надежным для использования в экстремальных условиях, таких как ядерные реакторы. Легирование ниобием улучшает коррозионную стойкость и механическую стабильность. Это особенно важно для длительной эксплуатации в водородных технологиях, поскольку материал может подвергаться воздействию агрессивных сред. Использование редкоземельных элементов может значительно изменить свойства гидрида циркония, повысив термостойкость и улучшить водородопоглощающие свойства.

Преимущества легирования:

1. Точная настройка свойств. Легирование позволяет точно настраивать свойства материала в соответствии с конкретными потребностями использования.
2. Улучшение механических характеристик. Повышение прочности и устойчивости к деформациям делает материал более надежным и долговечным.
3. Повышение термодинамической стабильности. Изменение электронных свойств может улучшить стабильность материала при высоких температурах [6, 7].

Наноструктурирование — это процесс создания материалов с нанометровыми размерами структурных элементов. Для гидрида циркония можно создать наночастицы или нанокомпозиты, которые значительно улучшат его свойства.

Преимущества наноструктурирования:

1. Увеличение площади поверхности. Наноструктуры по сравнению с обычными материалами, имеют большую площадь поверхности, что способствует повышению реакционной способности и эффективности хранения водорода.
2. Улучшение механических свойств. Наноструктуры способны повысить прочность и устойчивость к деформациям, что делает материал более надежным для использования в экстремальных условиях.
3. Улучшение теплопроводности. Более высокая теплопроводность способствует улучшению термодинамических характеристик, что особенно важно для использования в ядерных и водородных технологиях [8, 9].

Модифицированный гидрид циркония обладает большим потенциалом для широкого применения в ядерных реакторах. Он может быть использован для изготовления оболочек топливных элементов, которые должны выдерживать высокие температуры и давления. Улучшенные механические и термодинамические свойства делают его более надежным и долговечным материалом для использования в экстремальных условиях.

В водородных технологиях гидрид циркония может использоваться для хранения и транспортировки водорода. Улучшенные механические и термодинамические свойства способствуют более эффективному хранению водорода, что особенно важно для развития водородной экономики [10, 11].

Инновационные подходы к модификации гидрида циркония, такие как ультразвуковая обработка, легирование и наноструктурирование, открывают новые возможности для повышения его эффективности в ядерных и водородных технологиях. Эти методы позволяют значительно улучшить механические, термодинамические и коррозионные свойства материала, расширяя его применение в экстремальных условиях. Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут привести к созданию более эффективных и устойчивых материалов, необходимых для будущих технологических достижений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матюхин П.В., Косов А.В. Композиционные материалы для защиты от космической радиации // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород: Изд-во БГТУ. – 2016. – С. 583-587.

2. Ястребинская А.В., Павленко В.И., Матюхин П.В., Воронов Д.В. Механическая активация полимерных диэлектрических композиционных материалов в непрерывном режиме // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – №3. – С. 74-77.

3. В. Мюллер, Д. Блэкледж, Дж. Либовиц, М. Гидриды металлов // Атомиздат. – 1973. – С. 21-25.

4. Антонова М. М., Морозова Р. А. Препаративная химия гидридов: Справочник. // Киев: Наукова думка. – 1976. – С. 18-23.

5. Антонова М. М. Свойства гидридов металлов: Справочник // Киев: Наукова думка. – 1975. – С. 78-84.

6. Маккей К. Водородные соединения металлов. // Изд-во: М.: Мир. – 1968. – С. 244 .
7. Zuzek E., Abdata J.R. The H-Zr (Hydrogen-Zirconium) System. // Bulletin of Alloy Phase Diagrams. – Vol. 11. – No. 4. – 1990. – P.386.
8. Долуханян С.К., Алексанян А.Г., Тер-Галстян О.П. Особенности формирования сплавов и их гидридов в системе Ti-Zr-H // Химическая физика. – 2007. – т. 26. – № 11. – С.36-43.
9. Бережко П.Г., Тарасова А.И., Кузнецов А.А. Гидрирование титана и циркония и термическое разложение их гидридов // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – №11(43). – С.47-56.
10. Павленко В.И., Матюхин П.В. Основные аспекты разработки современных радиационно-защитных конструкционных металлокомпозиционных материалов // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – №10. – С. 85-86.
11. Соколенко И.В., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Иваницкий Д.А. Разработка радиационно-защитного композита для защиты от гамма-излучения // Успехи современного естествознания. – 2015. – №10. – С. 40-43.

УДК 633.521

Баринов Р.А., Ручий А.Ю., Сидельников Р.В.
Научный руководитель: Черкашина Н.И., д-р техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ЛЬНА В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лён – одна из самых ценных и известных сельскохозяйственных культур, используемая в основном для производства волокон и масел. Получаемое из семян льна масло широко применяется в пищевых (содержит важные для организма человека витамины и минералы) и непивцевых целях, например, в качестве связующего пигмента в масляных красках. Стебель или луб растения используется для извлечения натуральных целлюлозных волокон, обычно называемых льняными. Из льна в зависимости от технологии его обработки можно изготавливать любые ткани: от брезента до тончайшего батиста. Но сама технология получения и переработки льняного волокна очень сложна и дорогостояща, поэтому ткани из него сегодня считаются

элитными. Хотя доля льна на общем рынке волокон невелика, он используется для высококачественных применений.

Выращивание льна и производство из него различных изделий является традиционным для России. Для промышленной переработки выращивают так называемый лен-долгунец различных сортов. Лен-долгунец, как известно, прядильная культура и выращивается в основном для получения волокна, которого в его стебле содержится около 30 %. Остальные же 70 % составляет льняная костра, которая представляет из себя мелкие одревесневшие частички, отделяющиеся при мятке и трепании стебля. Отходы льна – биологические, поэтому широко применяются в сельском хозяйстве [1], строительной и легкой промышленности, в области биоэнергетики. Костра (рис. 1) используется даже при ликвидации разливов нефтепродуктов в качестве сорбента. Так, в работе [2] исследовано влияние обработки льняной костры кислотами на поглощение нефти с водной поверхности. Показано возрастание сорбционной емкости модификаторов льняной костры по отношению к нефти.

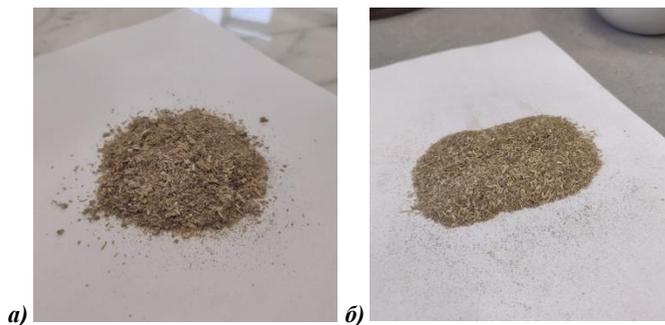


Рис. 1 – Льняная костра до (а) и после (б) помола (размер частиц менее 1,25 мм)

В составе льняной костры есть целлюлоза, лигнин, жиры, воск, макро- и микроэлементы.

Особенно отмечается высокое водопоглощение сырья – способность впитывать 220-240 % влаги от своей массы, а также низкая теплопроводность, благодаря чему материал хорошо сохраняет тепло. К тому же лён – мощное природное средство против болезней, без использования химических препаратов.

Потоки отходов, образующиеся при переработке льняного волокна, представляют собой потенциальные источники побочных продуктов с добавленной стоимостью, которые могут увеличить

прибыль и обеспечить прямую экономическую поддержку льняной промышленности. Эти потоки отходов включают пыль, костры, промывочную воду после мочки и отходы целлюлозы.

Жирные спирты (поликозанола) и длинноцепочечные воски (эфир С40 - С60) могут быть извлечены из фракций отходов, содержащих кутикулярные ткани и поверхностные воски. Эти соединения имеют потенциальное промышленное, нутрицевтическое и фармацевтическое применение и могут быть извлечены с помощью традиционных или новых методов зеленой сепарации. Костры, которые являются наиболее сильно одревесневшим материалом, могут быть источником ароматических соединений различных типов, которые потенциально используются в качестве противомикробных средств, антиоксидантов и смол. Оставшийся целлюлозный материал, свободный от ароматических веществ и поверхностных восков, может быть осахарен и преобразован путем ферментации для производства этанола в качестве биотоплива [3].

В работе [4] изучались возможности получения волокнистого полуфабриката на основе льняной костры механическим способом и использование его для получения бумаги. В результате эксперимента было выявлено, что данный материал поддается размолу, причём полученный полуфабрикат характеризуется низкими показателями прочности, однако может быть использован для производства бумаг с невысокими показателями механической прочности, например, для бумаг бытового и санитарно-гигиенического назначения в композиции с более прочными волокнистыми полуфабрикатами.

Агуна М. и соавторы [5] приготовили с использованием льняного натурального волокна, обработанного щелочным раствором с концентрацией 10%, биоразлагаемый материал на основе HDPE (полипропилена высокой плотности), который можно применять для изготовления полимерных композитов. Выявлено, что композиты с добавкой обработанного щёлочью льняного волокна обладают меньшим водопоглощением, повышенной прочностью на разрыв и лучшей твёрдостью по сравнению с бездобавочным HDPE.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований в работе [6] предложены способы получения котонина, ваты и целлюлозы из закоренного лубяного волокна, из которых за счет особенностей технологического процесса возможно получить качественную продукцию различного функционального назначения. Так, выяснилось, что при длине лубяных волокон льна 40 мм получают волокно, наиболее подходящее для применения в текстильной промышленности для изготовления смешанной пряжи, а при длине 30

мм получают волокно, которое можно использовать для изготовления санитарно-гигиенических изделий, а при длине 20 мм – волокно для производства целлюлозы. В отличие от традиционных длительных и трудоемких способов получения целлюлозосодержащих полуфабрикатов предложены способы, позволяющие снизить энергозатраты и получить за меньшую длительность технологического процесса продукцию надлежащего качества.

Исследование [7] показало, что для того, чтобы реализовать уникальные свойства льняных волокон, такие как относительно высокая прочность и большая стоимость отходов, отходы переработки льна использовались в качестве добавки для композитов из полипропилена (PP) с целью армирования материала. Льняные отходы были разделены на волокнистые и неволокнистые (порошок) компоненты и объединены в различных соотношениях с полипропиленом в качестве матрицы. Для улучшения поверхностного взаимодействия и адгезии между частицами льна и матрицей использовался компатибилизатор – малеинированный полипропилен (МАРР). В результате добавления МАРР было отмечено значительное увеличение прочности и модуля упругости образцов. Помимо этого, теплопроводность и шумоизоляционные свойства также улучшились на 22% и в 7 раз соответственно.

Исследовательская работа [8] сосредоточена на разработке легких гибридных полимерных композитов с использованием комбинации новых материалов, полученных из отходов биомассы льняного жмыха и однонаправленных льняных волокон с эпоксидными полимерными матрицами. В этой работе извлеченная целлюлоза была превращена в композит с использованием полимерной матрицы (эпоксидной смолы), и ее механические, а также акустические характеристики были изучены для определения ее пригодности для различных применений. Образец с 7,5 мас. % целлюлозы льняного жмыха в композите показал самые высокие значения различных свойств, включая прочность на растяжение (77,62 МПа), прочность на изгиб (115,62 МПа) и ударную вязкость (35,5 кДж/м²). Образец с 10 мас. % добавкой целлюлозы льняного жмыха обладает повышенными твердостью и звукопоглощающими свойствами.

В статье [9] сообщается об аналитическом и экспериментальном исследовании влияния армирования наполнителем из отходов льна и стеклянной пыли на эффективную теплопроводность ($K_{эфф}$) композитов на основе эпоксидной матрицы. Замечено, что $K_{эфф}$ композитов снизился на 17,3 % с увеличением массовой доли отходов стеклянной пыли (WGD) с 0 до 0,2. В результате исследования выявлено

повышение теплоизоляционных свойств композитов, армированных наполнителем из льняной стружки и WGD.

Таким образом, отходы переработки льна имеют большое значение в производстве как полимерных композитов, так и для дальнейшего синтеза продуктов. Авторы данной работы имеют опыт создания полимерных композитов с отходами растительного производства [10], который может быть использован для синтеза композитов и с отходами льна. Композиты с добавкой льняных отходов будут обладать широким диапазоном физико-химических свойств в зависимости от области применения. Переработка льняной костры найдет применение в сельском хозяйстве, строительной и легкой промышленности, в области биоэнергетики.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России № FZWN-2024-0001 с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгонок А.В., Бакатович А.А. Особенности изменения коэффициента теплопроводности стеновых блоков на растительных отходах в зависимости от влажности материала // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 10. – С. 19–28.
2. Шайхиев И.Г., Степанова С.В., Фридланд С.В., Хасаншина Э.М. Отходы переработки льна в качестве сорбентов нефтепродуктов. 2. Влияние химической обработки на гидрофобность и нефтепоглощение // Вестник Башкирского университета. – 2010. – Т. 15. – № 3. – С. 607–609.
3. Himmelsbach D., Holser R. Flax processing: use of waste streams for profit // International Conference on Flax and Other Bast Plants. Saskatoon, Canada: FAO/SCORENA. 2008, P. 97–103.
4. Чендылова Л.В., Каретникова Н.В., Марченко Р.А., Алашкевич Ю.Д. О возможности использования отходов льна в целлюлозно-бумажной промышленности // Решетневские Чтения. – 2016. – Т. 2. – С. 322–323.
5. Aruna, M., Shariff, J., Chakravarthy, K.S. et al. Alkali-Processed Flax Natural Made High-Density Polyethylene Waste Recycled Composites: Performance Evaluation // J. Inst. Eng. India Ser. D (2024). <https://doi.org/10.1007/s40033-024-00739-z>.

6. Богданова О.Ф., Березовский Ю.В. Современные технологии переработки составляющих льна для производства продукции различного назначения // *Материалы и технологии*. – 2018. – Т. 2. – С. 9–13.

7. Ma H., Guna V., Raju T., Murthy A.N., Reddy N. Converting flax processing waste into value added biocomposites // *Industrial Crops and Products*. – 2023. – V. 195, 116434.

8. Sathesh Babu M., Moorthi R. Development of lightweight hybrid polymeric composites reinforced with cellulose microfillers derived from linseed oil cake // *Polymer Composites*. – 2023. Volume 45, Issue 4, P. 3272-3283.

9. Saran C.S., Satapathy A. Epoxy-hemp and epoxy-flax composites filled with glass dust for enhanced thermal insulation: An analytical and experimental study // *Polymer Composites*. – 2024. – Volume 45, Issue 6, Pages 5244–5255.

10. Черкашина Н.И., Павленко З.В., Домарев С.Н., Ручий А.Ю., Солгалов В.В. Создание композиционного материала на основе растительных компонентов // *Нанотехнологии в строительстве*. 2024. Т.16, № 1. С. 67–76. <https://doi.org>

УДК 666.189.3

Варфоломеева С.В.

***Научный руководитель: Бессмертный В.С. д-р техн., наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

СТЕНОВАЯ КЕРАМИКА, МОДИФИЦИРОВАННАЯ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИМИ ТЕХНОГЕННЫМИ ОТХОДАМИ

В настоящее время в архитектурную моду входит стеновая керамика черных цветов и различных серых оттенков. В керамической промышленности для окрашивания материалов используют тетраоксид марганца «Manganese oxide Mn_3O_4 » Color k/s компании Kimpre (Франция). Введение в состав керамической массы тетраоксида марганца в количестве 0,7; 1,3; 2,6 и 3,8% изменяет окраску стеновой керамики от красной (эталон) до терракотовой, светло-коричневой, коричневой и темноокрашенной соответственно. Это приводит к уменьшению светлоты L^* и насыщенности C^* , за счет уменьшения красноты a^* и желтизны v^* [1].

Однако использование синтетического тетраоксида марганца существенно удорожает себестоимость конечного продукта.

Для объемного окрашивания стеновой керамики использовали отходы добычи марганцевых руд, содержащих MnO_2 в количестве 24,2-29,2%.

В керамическую массу на основе новокузнецкого суглинка вводили отходы добычи марганцевых руд в количестве 2,5 и 10%.

Цветовые характеристики керамических образцов определяли по аддитивной системе цветопередачи RGB в соответствии с численным значением базовых цветов (красного - R, зеленого - G, синего - B) в шестнадцатеричной системе счисления.

Введение в состав керамической шихты приводит к окрашиванию стеновой керамики в различные оттенки красно-коричневой области спектра. Ощутимое изменение окраски наблюдалось при введении 10% марганцевых отходов при обжиге образцов при $1000^\circ C$ [2].

Расширение сырьевой базы для объемного окрашивания стеновой керамики является актуальным направлением замен синтетических пигментов на техногенные отходы промышленности.

Решением, не применяемым ранее является модифицирование стеновой керамики марганецсодержащими отходами ванадиевого производства.

В качестве объекта исследования была использована мусковитовая глина Гжельского месторождения Московской области. Для объемного окрашивания использованы отходы ванадиевого производства следующего химического состава (мас.%): CaO - 36,93; SO_3 - 33,02; Mn_2O_3 - 17,39; MgO - 5,03; SiO_2 - 3,22; V_2O_5 - 2,81; Al_2O_3 - 0,41; ППП - 1,13; прочее - 0,06 [3]. Отход измельчали в шаровой фарфоровой мельнице с уrolитовыми шарами и вводили в состав керамической массы в количестве 5, 7,5 и 10 мас.%.

После пластического формования образцы размером $30 \times 30 \times 30$ мм сушили в сушильном шкафу при $105^\circ C$ и обжигали в муфельной печи при максимальной температуре $1000^\circ C$ с выдержкой 2 часа.

Спектры диффузионного отражения в диапазоне 380–750 нм образцов определяли с использованием спектроколориметра Color i5 (X-Rite, Incorporated, USA) и преобразовывали с помощью программы Color IQ при источнике освещения D65 и колориметрическом наблюдении 10° в координаты колориметрической системы $CIE L^*a^*b^*$.

Трехмерная колориметрическая система $CIE L^*a^*b^*$ представлена координатой L^* — светлотой, характеризующей яркость, а также координатами a^* и b^* , описывающие ощущение цветности от красного ($+a^*$) до зеленого ($-a^*$) и от синего ($+b^*$) до желтого ($-b^*$) цветов [3].

Для определения цвета определяют полное отклонение цветовых характеристик образцов M0, M5, M7,5 и M10 в координатах цвета

CIE L*a*b. Определение характеристик цвета в CIE L*a*b основано на измерении спектров отражения испытуемых образцов. CIE L*a*b охватывает на горизонтальной плоскости все цвета, а по вертикальной – изменения степени белизны. Насыщенность каждого цвета возрастает по направлению от бесцветной центральной точки; a* определяет зеленый и красный цвет (от 0 к отрицательным значениям возрастает насыщенность зеленого цвета, а от 0 к положительным значениям – красного); - синий и желтый; значение координаты варьируется от 0 (черный цвет) до 100 (белый цвет) [4].

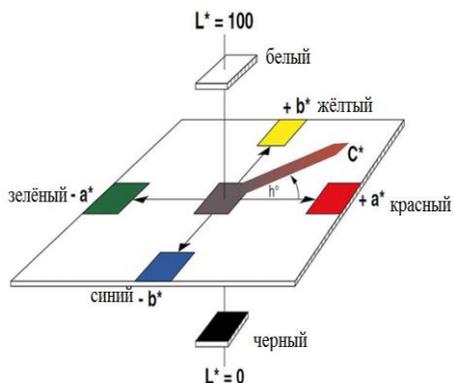


Рис. 1 – Графическое отображение цветового пространства CIE L*a*b*.

Насыщенности C^*_{ab} и цветового тона h_{ab} определяли по выражениям:

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$h^*_{ab} = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

Результаты оценки цветовых характеристик представлены в таблице 1. Керамический образец М0 не содержал марганецсодержащий отход ванадиевого производства, образец М5 содержал 5% отхода и имел светло-коричневый оттенок. Образец М7,5 имел темно-коричневый цвет. Образец М10 имел темный оттенок.

Таблица 1 - Цветовые характеристики образцов стеновой керамики.

Шифр образца	Цвет	Координаты CIE Lab				
		L*	a*	b*	c*	h*
M0	Красный	51,7	24,9	26,8	36,5	47,10
M5	Светло-коричневый	45,3	10,1	18,2	20,81	60,97
M7,5	Темно-коричневый	41,9	7,9	11,8	14,2	56,20
M10	Черный	38,7	5,8	8,9	10,62	56,90

Цветовой контраст рассчитывали по выражению [4].

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^*^2 + \Delta a^*^2 + \Delta b^*^2} \quad (3)$$

Где ΔL^* , Δa^* и Δb^* - различие в координатах цвета цветового пространства сравниваемых образцов.

Анализ цветовых характеристик показывает, что значения координат для керамики M0 составляет 51,7.

С увеличением содержания в стеновой керамике отхода ванадиевого производства до 10% (M10) значение координаты L* снижается до 38,7.

В стеновой керамике состава M0 краснота a^* составляет 24,9. С увеличением в керамической массе отхода ванадиевого производства с 5% до 10% параметр красноты a^* уменьшается с 10,1 до 5,8, а цвет изменяется от светло-коричневого до черного.

В стеновой керамике состава M0 параметр желтизны b^* составляет 26,8. С увеличением содержания в стеновой керамике отхода ванадиевого производства с 5% до 10%, параметр желтизны снижается с 18,2 до 8,9, а цвет изменяется со светло-коричневого о черного.

По выражениям (1) и (2) были рассчитаны параметры C^*_{ab} и h^*_{ab} .

Установлено, что с увеличением содержания в стеновой керамике отхода ванадиевого производства с 5% до 10%, насыщенность цвета C^* и цветовой h^* существенно изменяются.

По данным светлоты L*, красноты a^* и желтизны b^* были рассчитаны цветовые контрасты стеновой керамики, модифицированной марганецсодержащим отходом ванадиевого производства (таблица 2).

Таблица 2 – Цветовые контрасты стеновой керамики, модифицированной марганецсодержащим отходом ванадиевого производства (эталон М0)

Шифр образца	Цвет образца	Цветовой контраст ΔE
M5	Светло-коричневый	49,85
M7,5	Темно-коричневый	44,24
M10	Черный	40,13

Как видно из таблицы 2, с увеличением в стеновой керамике содержания отхода ванадиевого производства возрастает цветовой тон.

Заключение

Исследовано влияние марганецсодержащего отхода ванадиевого производства на цветовые характеристики стеновой керамики. Определены также характеристики цвета – светлота, желтизна, красота, насыщенность, цветовой тон и цветовой контраст. Установлены закономерности влияния марганецсодержащего отхода ванадиевого производства на цветовые характеристики стеновой керамики, заключающиеся в уменьшении светлоты с 51,7 до 38,7, красноты с 24,9 до 5,8, желтизны с 26,8 до 8,9 при увеличении содержания отхода до 10 мас.%. Марганецсодержащий отход ванадиевого производства рекомендуется в качестве керамического пигмента для широкого введения в керамическую промышленность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щикальцова В.И., Платов Ю.Т., Расулов В.А. Оценка цвет лицевого кирпича методом UV-VIS-NIR-спектроскопии. // Строительные материалы. – 2020. – № 12. – С. 16-20.
2. Столбоушкин А.Ю., Фомина О.А., Акст Д.В., Иванов А.И., Дружинин М.С. Получение декоративной стеновой керамики из глинистого сырья и отходов добычи марганцевых руд. // Строительные материалы. – 2016. – № 12. – С. 38-44.
3. Бессмертный В., Платова Р., Платов Ю., Рассулов В., Бондаренко М., Варфоломеева С. Идентификация состава окрашенного синтетического гипса, получаемого в виде отходов при производстве ванадия. // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27, № 5. – С. 28-33.
4. Fairchild M.D. Color Appearance Models. Second Edition. England. John Wiley & Sons. 2005. 408 p.

УДК 666.965

Гхебремедхин К.В.

*Научный руководитель: Володченко А.Н., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ЗАДАЧИ РЕФОРМИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО СЕКТОРА С АКЦЕНТОМ НА МЕСТНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ГОСУДАРСТВЕ ЭРИТРЕЯ

Как и многие страны Африки к югу от Сахары, Эритрея сталкивается с серьезными жилищными проблемами и низким уровнем развития городов. Доступное и достаточное жилье и инфраструктура приемлемых стандартов обеспечивают безопасную и здоровую среду обитания, способствуют экономическому росту, повышая производительность рабочей силы, а также создают социальную гармонию между гражданами и политическую стабильность в стране [1–5].

В дополнение к накопившейся нехватке жилья в стране, жилищные проблемы Эритреи в настоящее время требуют большего внимания для укрепления ее строительного потенциала в соответствии с ростом численности населения, обеспечения жильем мигрантов из сельских районов в города и поощрения добровольных возвращенцев из-за рубежа путем предоставления недорогого жилья, что позволит улучшить демографическую ситуацию, на которую негативно повлиял экономический кризис, длительная борьба за независимость и суверенитет. Согласно предыдущим оценкам, в настоящее время только в столице страны Асмэре необходимо разместить 100000 домохозяйств [6]. Учитывая дефицит жилья на национальном уровне, эта проблема становится главной национальной проблемой.

Основными городскими строительными материалами для строительства жилья являются кирпич, пустотелые цементные блоки и камни ручной или машинной обработки для стен, бетонные полы, покрытые плиткой. Кирпичные заводы работают на устаревших производственных мощностях. Строители, которые используют дефицитные дрова для обжига кирпича, прекратили производство из-за жесткой политики по борьбе с вырубкой лесов. В то время как те, кто зависит от потребления топлива, ограничены высокими производственными затратами и низкой способностью населения к приобретению жилья, 53 % из которых живут за чертой бедности в

перенаселенных районах с ограниченным доступом к недорогой воде и безопасной санитарии.

За последние несколько десятилетий спрос на цементные блоки резко возрос из-за ценового преимущества, доступности, улучшенного качества и простоты производства по сравнению с кирпичом. Однако поставки цемента местного производства ограничиваются одним заводом небольшой мощности, который покрывает примерно 20 % годовой потребности страны, в то время как остальная часть поступает за счет импорта с использованием иностранной валюты, что создает экономические трудности для экономики страны [6]. Этот небольшой запас цемента расходуется в соответствии с приоритетом, который отдается общественным строительным проектам, таким как объекты здравоохранения и образования, что приводит к нехватке материалов для строительства индивидуального жилья.

По всей стране представлены различные виды облицовочного камня: песчаник, известняк, базальт, мрамор и гранит. Базальт используется для облицовки стен фундамента, в то время как песчаник, известняк и другие облицовочные камни используются для облицовки фасадов в зависимости от их доступности [6–8]. В домах с высоким доходом мрамор и гранит используются для напольных покрытий, облицовки, а также для подоконников и лестниц. Имеются необходимые специалисты и мастерские, специализирующиеся на резке и полировке мрамора и обработке гранита, однако это трудоемкий и менее доступный процесс.

Керамическая плитка закупается в других странах по высокой цене. Кровельные материалы изготавливаются либо из бетонных плит, покрытых асфальтом для гидроизоляции, либо из листов гофрированного железа, поддерживаемых деревянными фермами и прогонами. Черепица и кровельные материалы местного производства не удовлетворяют современным требованиям. Импортные железные листы по-прежнему являются наиболее широко используемым кровельным материалом. Цементная черепица еще не зарекомендовала себя как более дешевая альтернатива листовому гофрированному железу.

В основном существуют две категории сельских домов, в которых используются местные материалы и технологии. В сельской местности на высокогорье общими усилиями строят дома и заборы из камня. Хидмо – это традиционный дом, обычно построенный из камня, с деревянными столбами, поддерживающими деревянные стропила и балки, и покрытый ветками и землей в качестве крыши [9, 10]. Однако строительство Хидмо требует значительного количества древесины для

кровли и несущих конструкций, а коммунальные усилия по строительству жилья в современных социально-экономических условиях менее распространены.

В сельской низменности распространены два типа домов. «Агнет» – простая, легкая деревянная конструкция, покрытая рогожей, которую легко возводить и демонтировать, что подходит для частых переездов кочевников и скотоводов, которые часто переезжают с места на место. У оседлых жителей деревни дома называются «Агудо». Это дома для оседлых жителей, построенные из камня или деревянных столбов, которые могут быть покрыты глиной, с крышей, состоящей из деревянных стропил и соломы. В этих районах также широко распространено участие общественности. В сельской местности существует изобилие местных материалов для традиционного строительства домов, но чрезмерное использование древесины в строительстве привело к неблагоприятным экологическим последствиям. Эти традиционные дома спроектированы таким образом, чтобы обеспечить теплоизоляцию в регионах с жарким и засушливым климатом, но им не хватает минимальных инженерных стандартов и основных коммунальных услуг, таких как чистая питьевая вода, санитарные удобства, электричество и дороги. Данные обследования домашних хозяйств показывают, что в среднем около 43 % городских домохозяйств не имеют каких-либо безопасных санитарных условий; в крупных городах эта доля ниже и составляет 22 % [6].

Огромный импорт основных строительных материалов, таких как цемент и арматурная сталь, является основной причиной дефицита жилья и роста стоимости жилья. Эти проблемы с поставками могут быть решены путем продвижения улучшенных альтернативных местных строительных материалов, не оказывающих негативного воздействия на окружающую среду, таких как стабилизированные земляные блоки, которые все еще находятся на экспериментальной стадии и пока не могут выйти на рынок. Эффективное использование местных строительных материалов не только снизит стоимость строительства и повысит уровень доступности, но и обеспечит доход и занятость.

Правительству следует поощрять производство местных строительных материалов с помощью налоговых льгот для модернизации оборудования, технологий производства, повышения квалификации персонала и осуществления строгого контроля качества строительных материалов местного производства с целью обеспечения требований безопасности и экономии. Необходимо преобразовать зависящие от импорта городские структуры и материалоемкое строительство на биомассе в сельских общинах, чтобы защитить

окружающую среду и сделать доступное жилье доступным для людей с низкими доходами.

Адаптация хорошо зарекомендовавшего себя автоклавного метода производства силикатов в Эритрее является наиболее эффективным решением, учитывая обилие необходимого сырья в непосредственной близости. Преимущества автоклавного силикатного производства заключаются в низком потреблении топлива и электроэнергии, сокращении продолжительности технологического цикла и возможности использования дополнительных природных материалов и отходов для повышения эффективности производства [11–16].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Adedeji I. Nigerian Urbanization and the Significance of Affordable Housing //Journal of Service Science and Management. – 2023. – Т. 16. – №. 3. – С. 351-368.

2. Akinsulire A.A. et al. Sustainable development in affordable housing: Policy innovations and challenges //Magna Scientia Advanced Research and Reviews. – 2024. – Т. 11. – №. 2. – С. 90-104.

3. Singh V.S., Pandey D.N. Sustainable housing: Balancing environment with urban growth in India //RSPCB Occasional paper. – 2012. – Т. 6. – С. 17.

4. Baqutayan S.M.S., Ariffin A.S.B., Raji F. Describing the need for affordable livable sustainable housing based on Maslow’s theory of need //development. – 2015. – С. 353–357.

5. Mehdipanah R. Without affordable, accessible, and adequate housing, health has no foundation //The Milbank Quarterly. – 2023. – Т. 101. – №. Suppl 1. – С. 419.

6. Madanat S. et al. Housing and Urban Development in Eritrea// Ministry of Public Work. – 2005. – С. 24 – 120.

7. Abbate E., Billi P. Geology and Geomorphological Landscapes of Eritrea //Landscapes and Landforms of the Horn of Africa: Eritrea, Djibouti, Somalia. – Cham : Springer International Publishing, 2022. – С. 41-79.

8. Schwarz T., Germann K. Weathering surfaces, laterite-derived sediments and associated mineral deposits in north-east Africa //Palaeoweathering, Palaeosurfaces and Related Continental Deposits. – 1995. – С. 367-390.

9. Gurtner M. et al. Land management in the central highlands of Eritrea: a participatory appraisal of conservation measures and soils in Afdeyu and its vicinity. – 2006. – С. 25.

10. Kordonouri T., Teame B., Denison E. Asmara's architectural heritage as a bricolage: The case of St. Mary's Orthodox Cathedral // Curator: The Museum Journal. – 2022. – Т. 65. – №. 3. – С. 643-661.

11. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Перспективы расширения номенклатуры силикатных материалов автоклавного твердения // Строительные материалы. 2016. № 9. – С. 34.

12. Ямб Эммануэль. Строительные материалы на основе латеритных пород Камеруна и цемента / Ямб Эммануэль, Чему Жилберт, В.С. Лесовик, А.Н. Володченко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 1. – С. 27–33.

13. Володченко А.Н., Строкова В.В. Особенности технологии получения конструкционно-теплоизоляционных ячеистых бетонов на основе нетрадиционного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. 2017. №. 1. С.138-143.

14. Володченко, А.Н. Силикатный бетон на нетрадиционном сырье / А. Н. Володченко, Р.В. Жуков, Ю.В. Фоменко, С.И. Алфимов // Бетон и железобетон. – 2006. – № 6. – С. 16–18.

15. Володченко, А.Н. К проблеме использования попутно добываемого сырья угольных месторождений для производства автоклавных силикатных материалов / А.Н. Володченко, Е.И. Ходыкин, В.В. Строкова // Технологии бетонов. – 2013. – № 6(83). – С. 40–41.

16. Володченко, А.Н. Разработка состава теплоизоляционных материалов автоклавного твердения на основе глинистого сырья / А.Н. Володченко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 2. – С. 162–167.

УДК 666.32

Дудина Е.И.

*Научный руководитель: Сыса О.К., канд. тех. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАСС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ НА ОСНОВЕ ГЛИНЫ ЧИБИСОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ МЕЛА

Основными сырьевыми компонентами для изготовления керамической плитки выступают глинистые материалы (глина и каолин), а также кварцевый песок, при этом содержание глинистых веществ в массе должно составлять не менее 45-50%, из которых глина занимает не менее 30% [1]. В условиях глобализации процесс производства керамической плитки для отделки внутренних стен на большинстве предприятий осуществляется на идентичном оборудовании с применением известных технологий, что приводит к схожести цен на изделия [2]. В последнее время отечественные предприятия все чаще обращаются к сырью иностранных поставщиков в связи с истощением запасов высококачественного материала. Таким образом, приоритетом исследований становится создание новых керамических масс на основе сырья отечественного месторождения, которые способны улучшить технические и эксплуатационные характеристики, а также эстетические и потребительские качества изделий, одновременно снижая их стоимость [3-4].

В данной статье предпринята попытка разработки составов масс для производства керамической облицовочной плитки на основе глины Чибисовского месторождения с повышенным содержанием мела. На интенсификацию процесса спекания оказывает благоприятное влияние введение различных добавок в смеси наполнителей, которые формируют легкоплавкие эвтектические смеси с исходными компонентами и способствуют образованию жидкой фазы в системе при более низких температурах [5-6]. В данном исследовании анализировалось влияние увеличения массовой доли плавня второго рода – мела – на интенсификацию процесса спекания.

В лабораторных условиях были разработаны многокомпонентные составы облицовочной плитки, в которых количество мела было увеличено с 10,89 до 14,42 % мас. и соответствующим уменьшением

массовых долей остальных компонентов: Чибисовской глины, кварцевого песка, шамота.

Образцы размером $15 \times 60 \times 8$ мм были изготовлены методом двухступенчатого прессования при влажности пресс-порошка 7%. После этого они подвергались сушке на воздухе в течение 24 часов, а затем в сушильном шкафу при температуре 100°C также в течение 24 часов [7]. Далее образцы были обожжены в муфельной печи при температурах 1050°C , 1100°C , 1150°C , 1170°C [8]. На основании полученных данных были определены основные физико-механические свойства, а также построены графики, иллюстрирующие зависимости этих свойств от содержания мела в массе.

На основе полученных результатов, представленных на рисунке 1, можно сделать вывод, что значения усадки образцов растут с повышением температуры. С увеличением количества мела также наблюдалось увеличение усадки.

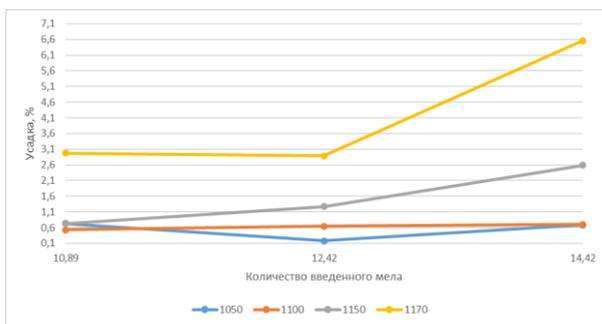


Рис. 1 – Зависимость усадки образцов от количества мела в массе

Из результатов испытаний, показанных на рисунке 2, было выявлено, что значения кажущейся плотности образцов увеличиваются с повышением температуры. По мере увеличения количества мела значения кажущейся плотности незначительно увеличиваются.

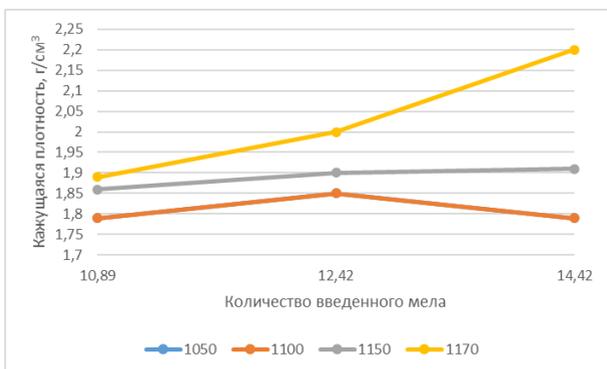


Рис. 2 – Зависимость кажущейся плотности от количества мела при различных температурах обжига

На рисунке 3 представлена зависимость водопоглощения от количества мела при различных температурах обжига. С поднятием температуры водопоглощение в основном уменьшается. У состава, содержащего мела 12,42 %, водопоглощение приближено к требуемым значениям уже при 1050 °C (16 %), при 1150 °C и 1170 °C водопоглощение приближено к требованиям ГОСТ (16 %) у всех образцов. Однако при 1150°C и 1170°C наблюдаются признаки пережога в различной степени.

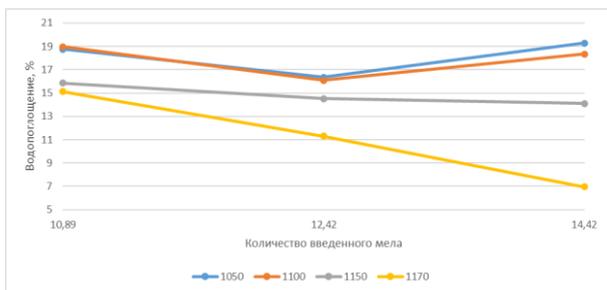


Рис. 3 – Зависимость водопоглощения от количества мела при различных температурах обжига

На рисунке 4 представлена зависимость предела прочности при изгибе от количества мела. Данный параметр с повышением температуры и с увеличением количества мела увеличивается благодаря лучшему протеканию процесса спекания.

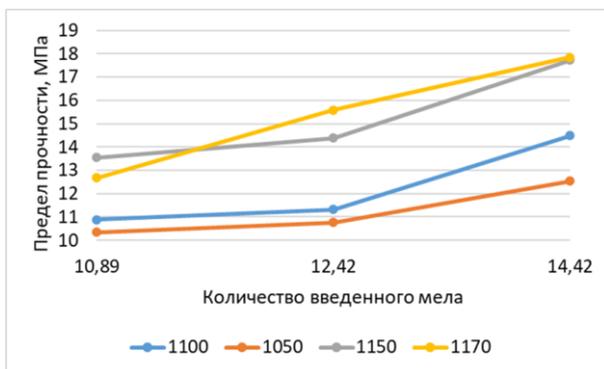


Рис. 4 – Зависимость предела прочности от количества мела при различных температурах обжига

В ходе проведенного эксперимента было установлено, что при создании масс на основе Чибисовской глины с повышенным содержанием мела качество спекания улучшается, при условии, что содержание других компонентов остается постоянным. Удалось достичь значений водопоглощения менее 15%, что свидетельствует о том, что небольшое количества мела способствует снижению водопоглощения. Однако добавление более 14% мела приводит к вспучиванию образцов при температуре 1050°C и пережогу при более высоких температурах. Прочность на разрыв остается на прежнем уровне. Сравнив полученные результаты с физико-химическими характеристиками по ГОСТ, было установлено, что состав керамической плитки соответствует группе VIII (водопоглощение, мас.%, $E > 10$) [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Г.Д. Коваленко Технология производства строительной керамики [Текст] / Г.Д. Коваленко — Москва: Ассоциации строительных вузов, 2015 — 250 с.
2. Солодкий, Н.Ф., Шамриков, А.С. Сырьевые материалы и пути повышения эффективности производства строительной керамики [Текст] / Н.Ф. Солодкий, А.С. Шамриков // Стекло и керамика. — 2009. — № 1. — С. 26-29.
3. Ашмарин, Г.Д., Курносов, В.В., Ласточкин, В.Г. Энерго- и ресурсосберегающая технология керамических стеновых материалов [Текст] / Г.Д. Ашмарин, В.В. Курносов, В.Г. Ласточкин // Строительные материалы. — 2010. — № 4. — С. 24-27.

4. Сычева, А.В., Омарова, Л.А. Разработка состава массы керамической плитки для внутренней облицовки стен на основе глины большекарповского месторождения / А.В. Сычева, Л.А. Омарова [Текст] // Сб. докл. XI Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство». — Белгород:БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. — С. 585-589.

5. Хорина А.В Сравнительный анализ структуры и фазового состава высокопрочных керамических изделий [Текст] / Хорина А.В, Т.И. Шелковникова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2023. — № 6. — С. 17-25.

6. Сыса О.К., Морева И.Ю., Трепалина Ю.Н., Чепурных А.А., Локтионов В.А., Локтионова Е.В. Глинистое сырье для производства светлоокрашенного керамического кирпича в аспекте высолообразования солей ванадия [Текст] / О.К. Сыса, И.Ю. Морева, Ю.Н. Трепалина, А.А. Чепурных, В.А. Локтионов, Е.В. Локтионова // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2019. №12. С. 130-139.

7. Бельмаз, Н.С Химическая технология керамики и огнеупоров: учебное пособие [Текст] / Бельмаз, Н.С — Белгород: БГТУ, 2018 — 276 с.

8. Бельмаз, Н.С Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу " Химическая технология керамики и огнеупоров" [Текст] / Бельмаз, Н.С — Белгород: БГТУ, 2017 — 32 с.

9. ГОСТ 13996 – 2019. Плитки керамические. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт. – Взамен ГОСТ 13996-93; ГОСТ 6141-91; ГОСТ 6787-2001; введ. 2020 – 01 – 06. - Москва: ГОССТАНДАРТ России, 2019. – 37 с.

УДК 544.478.02;666.3.022.66

Колесова А.С., Пономарева П.С.

*Научный руководитель: Онищук В.И., канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия*

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВКВС ОКСИДА АЛЮМИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ШАРИКОВ – НОСИТЕЛЕЙ КАТАЛИЗАТОРОВ

Инертные керамические шарики давно нашли применение в различных отраслях промышленности в качестве распределителей потоков газов и жидкостей, сферической подложкой-носителем, выполняющим функцию опорной защиты активного катализатора,

который в сравнении с ними имеет гораздо меньшую механическую прочность.

Широкое распространение инертные керамические шарики получили в нефтеперерабатывающей, нефтехимической, газоперерабатывающей промышленности, в процессах переработке угля в oleфины, производстве метанола и минеральных удобрений и продуктов тонкой химии из-за своих уникальных термических, физико-механических и химических свойств [1,2].

Керамические шарики имеют высокие значения механической прочности, термических свойств, малой пористостью и, как следствие, низкое водопоглощение, высокую устойчивость по отношению к агрессивным средам [2].

В зависимости от содержания в их составе оксида алюминия, инертные шарики, согласно сведениям компании «Titan Industrial Ceramic» (КНР), [3] подразделяются на 4 марки, свойства которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства инертных керамических шариков – носителей катализаторов

Свойство	БМТЛ80	БМТЛ92	БМТЛ95	БМТЛ99
Содержание Al ₂ O ₃ , мас.%	≥80	≥92	≥95	≥99
Водопоглощение, %	≤5	≤5	≤5	≤5
Объемная плотность, г/см ³	2.5-2.8	≥2,8	≥3,1	3.3-3.7
Ударопрочность	высокая	высокая	высокая	высокая
Размеры фракций, мм	3...6; 6...8; 8...10; 10...13; 13...19; 19... 25; 25...50			

Не менее востребованными в настоящее время в России являются носители катализатора на основе оксида алюминия марки БМТЛ 99, используемых для каталитического крекинга нефти с целью получения высококачественного топлива, в производстве аммиака, метанола и других химикатов, а также в установках для очистки сточных вод путем удаления из них соединений азота и фосфора (рисунок 1) [3,2].



Рис. 1 – Инертные керамические шарики – носители катализаторов

В России также продаются керамические шары – носители катализаторов, соответствующие требованиям ТУ 4328-016-86587536-2010 и ГОСТ 20419-83 [4], которые имеют широкий диапазон содержания оксида алюминия (Al_2O_3) – от 20 до 99,8 мас.%. марки шаров приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав керамических шаров – носителей катализаторов

Подгруппа ГОСТ 20419-83	РНС-23 110 (фарфор)	РНС-52 600 (муллитокорундовые)	РНС-70 620 (муллитокорундовые)	РНС-92 786 (корундовые)	РНС-99 799 (корундовые)
SiO_2	68-72	38-42	20-23	2-4	0.15-0.2
Al_2O_3	17-23	52-55	70-73	92-94	99-99.2
Fe_2O_3	0.4-0.8	0.4-0.8	0.3-0.6	0.2-0.4	0.05-0.2
TiO_2	0.5-0.8	0.3-0.6	0.2-0.5	0.1-0.3	0.15-0.2
MgO	0.6-1.2	0.4-0.8	0.4-0.9	0.5-1	0.03-0.05
CaO	0.6-0.9	0.3-0.6	0.6-0.9	0.2-0.5	0.04-0.07
K_2O	2.3-3.0	1-2.5	1-2	0.5-1.5	0.1-0.15
Na_2O	0.5-0.8	0.3-0.6	0.4-0.8	0.3-0.6	0.2-0.25

Столь широкий диапазон содержания в составе шаров оксидов кремния и алюминия обеспечивает им широкий интервал значений физико-механических и термических свойств, приведенный в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические и термические свойства инертных керамических шаров

Подгруппа ГОСТ 20419-83	РНС-23 110 (фарфор)	РНС-52 600 (муллито- корундовые)	РНС-70 620 (муллито- корундовые)	РНС-92 786 (корундовые)	РНС-99 799 (корундовые)
Плотность шаров, кг/м ³	2300 – 2400	2400 – 2500	2500 – 2800	3000 – 3500	3500- 3600
Водопоглощение, %	0,1-0,5	<0,5	<0,1	<0,01	<0,01
Твёрдость по Моосу	7-8	7-8	7-8	8-9	9
Удельная теплоемкость от 30°С до 100°С, Дж/кг·К	840	860	880	900	900
Тепловой коэффициент линейного расширения (20°С- 600°С) 10 ⁻⁶ К ⁻¹	4.7	6	6.5	8.0	9.0>
Термостойкость, °С	1000	1000	1000	1300	1500
Насыпная плотность, кг/м ³	1350	1400	1500	1900	2000

Исходя из того, что истинная плотность γ - оксида алюминия составляет 3420 кг /м³, а α -оксида алюминия 3960 кг /м³, то можно рассчитать пористость керамических шариков марок РНС-92 786, составляет 17,9%, а марки РНС-99 799 – 10,3%. Вместе с тем можно утверждать, что такие шарики могут быть изготовлены только из α -оксида алюминия, т.к. плотность γ - оксида алюминия гораздо ниже, чем плотность шариков этих марок. Также можно говорить о том, что для получения муллитокорундовых шариков марок РНС 52 600 и РНС 70 620 можно использовать и γ - оксида алюминия.

Отличия в морфологии и размерах частиц оксида алюминия двух модификаций представлены на рисунке 2.

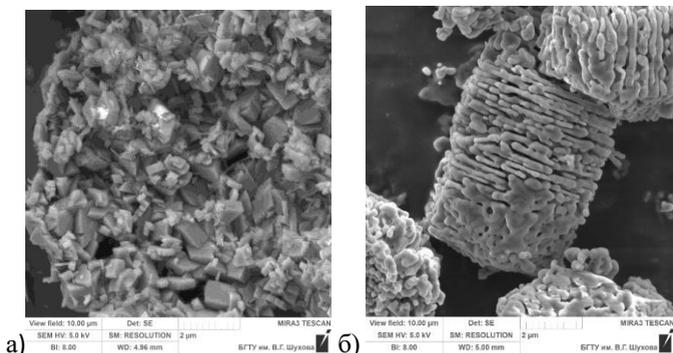


Рис 2 – Микрофотографии поверхности и размеров частиц:
а - порошка γ - Al_2O_3 ; б – порошка α - Al_2O_3

В последние десятилетия в технологии изготовления технической керамики различного назначения находят применение высококонцентрированные керамические суспензии – ВКВС.

Авторы работы предполагают, что на основе ВКВС можно успешно производить формование шариков различного диаметра при использовании определенных способов формообразования [4].

На основании порошков оксида глинозема γ - и α - модификаций были получены ВКВС, свойства которых представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные свойства ВКВС оксидов алюминия

Исходный материал	Формула ВКВС	Плотность, г/см^3	Время истечения, сек.	Содержание твердой фазы, C_v	Влажность, %
γ - Al_2O_3	СКШ-1	2,09	65	0,45	25,0
α - Al_2O_3	СКШ-2	2,30	326	0,43	23,5

Сам способ получения ВКВС основан на классических представлениях получения ВКВС различных составов [5]. В основу способов получения ВКВС положен процесс жидкофазной механохимической активации, последовательность операций которой позволяет получать ВКВС с заданной структурой и свойствами, например с определенным размером частиц (рисунок 3).

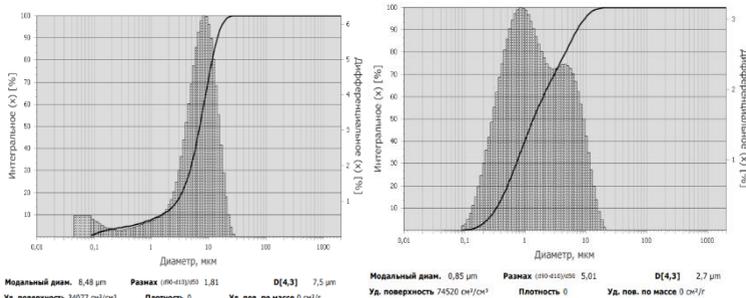


Рис 3 – Интегральное и дифференциальное распределение частиц исходных порошков α-оксида алюминия (а) и ВКВС (б)

Из рисунка 3 видно, что средний модальный диаметр частиц исходного порошка равен 8,48 мкм, в при получении ВКВС значение его для частиц составляет 0,85 мкм, следовательно получение ВКВС способствует уменьшению их размеров примерно в 10 раз, при этом удельная поверхность уменьшается в два раза, а дифференциальное распределение размеров частиц с увеличением в 2 раза при формообразовании приведет к более плотной «упаковке», следовательно к получению самих шариков с большей плотностью, нежели при их формировании из исходных порошков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инертные шары Inert Ball SP-Терploobmen: [сайт].- URL: <https://sp-terploobmen.ru> (дата обращения 20.10.2024).
2. Керамические шарики для поддержки катализатора [сайт].- URL: <https://www.hard-ceramic.com> (дата обращения 21.10.2024).
3. Шары керамические. АО «Электрокерамика»: [сайт].- URL: <https://eltechceram.ru> (дата обращения 21.10.2024).
4. Коробанова Е.В. Исследование процесса гранулирования искусственного керамического вяжущего на основе глинозема/Е.В. Коробанова, В.И. Онищук, В.А. Дороганов, Е.И. Евтушенко//Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. -№12 – с. 141-146.
5. Пивинский Ю. Е. Кварцевая керамика, ВКВС и керамобетоны. История создания и развития технологий. — СПб.: Политехника-принт, - 2018. 360 с.

*Колесова А.С., Пономарева П.С., Смагина А.Р.
Научный руководитель: Перетоккина Н.А., канд. тех. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПОЛУЧЕНИЕ АРМИРОВАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В современном производстве огнеупоров высококонцентрированные вяжущие суспензии играют ключевую роль, обеспечивая необходимую прочность и термостойкость конечных изделий. Эти материалы представляют собой сложные системы, состоящие из мелкодисперсных частиц, которые, благодаря своим уникальным свойствам, позволяют значительно улучшить эксплуатационные характеристики огнеупорных материалов [1]. В условиях растущих требований к качеству и эффективности производства, изучение и внедрение высококонцентрированных вяжущих суспензий становится особенно актуальным. Данная статья рассматривает состав, свойства и технологии применения таких суспензий в производстве огнеупоров, а также их влияние на конечные характеристики продукции.

В качестве сырьевых материалов для получения ВКВС применяли кварцевый песок Зиборовского месторождения. При приготовлении шлакощелочного вяжущего использовали шлак ОЭМК воздушно-сухого охлаждения и жидкое стекло ($\rho = 1,26 \text{ г/см}^3$) ГОСТ 13078-81. Жидкое стекло - это технический раствор, получаемый автоклавным гидратированием глыбы или гранул щелочных силикатов [2]. В качестве отвердителя жидкого стекла в работе использовался шлак ОЭМК. Шлак Оскольского электрометаллургического комбината является отходом данного производства. В качестве армирующего компонента в изделия вводилась каолиновая вата, с целью повышения прочности материала [3].

Химический состав данных материалов приведен в таблице 1.

Работы по изготовлению пенолегковеса вели с применением пенообразователя ПБ-2000. Его рекомендуется применять в виде 3% (об.) водного раствора концентрата, называемого рабочим раствором [4].

Таблица 1 – Химический состав сырьевых материалов

Наименование материала	Химический состав, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O	B ₂ O ₃	TiO ₂
Кварцевый песок Зиборовского месторождения	96,80	0,51	0,93	0,38	-	0,81	-	-
Шлак ОЭМК	26,20	6,30	7,90	44,30	12,00	-	-	-
Каолиновое волокно	43-54	43-54	0,6-1,8	0,1-1,0	-	0,2-2,0	0,08-1,2	0,1-3,5

Для изготовления образцов в данной работе использовался механоактивированный шлак. Механоактивация проводилась в шаровой планетарной мельнице в условиях сухого помола в течение 30 мин.

Также приготовлена пеномасса из кварцевой суспензии, каолиновой ваты, шлакощелочного вяжущего и пены, полученной из рабочего раствора пенообразователя ПБ-2000 [5]. Рабочий раствор пенообразователя взбивали в вертикальной лопастной мешалке. Суспензию смешивали с заранее измельченной каолиновой ватой и с водой в соотношении 1:1, а затем с приготовленной пеной в соотношении 1:1 (по объему) при помощи той же мешалки. После вводили шлакощелочное вяжущее. Образцы отливали в металлические формы размером 70/70/70 мм, предварительно смазанные солидолом.

Сушка происходила сначала в естественных условиях при $t=18-21$ °С в течение суток, а затем в сушильном шкафу при $t=100-110$ °С - 1 сутки. Остаточная влажность после сушки 0,5-1%. Обжиг производился в муфельной и силитовой печах при температурах 1000, 1150, 1300 °С с получасовыми выдержками при 200 °С, 600 °С и максимальной температуре.

Таблица 2 – Составы масс, %, по твердому веществу

Обозначение	Суспензия	Шлакощелочное вяжущее	Каолиновая вата
1	90	3,5	6,5
2	90	5	5
3	80	10	10
4	85	5	10
5	85	10	5
6	90	10	0
7	95	5	0

На обожженных образцах определяли основные физико-механические свойства: плотность (ρ , г/см³), водопоглощение (В, %), пористость (П, %), линейную усадку (Δl , %), предел прочности при сжатии ($\sigma_{сж}$, МПа), коэффициент конструктивного качества (А)

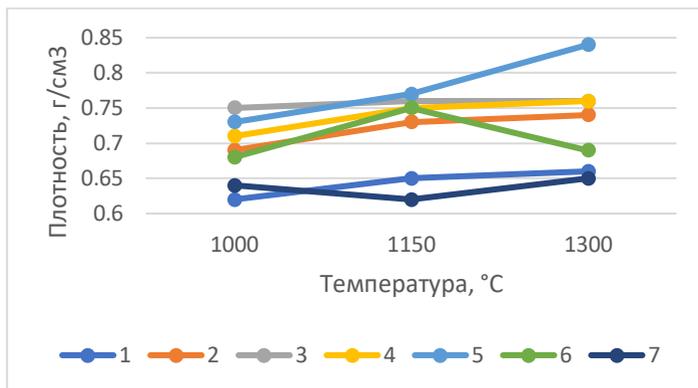


Рис. 1 – Зависимость плотности от температуры обжига и состава материала.

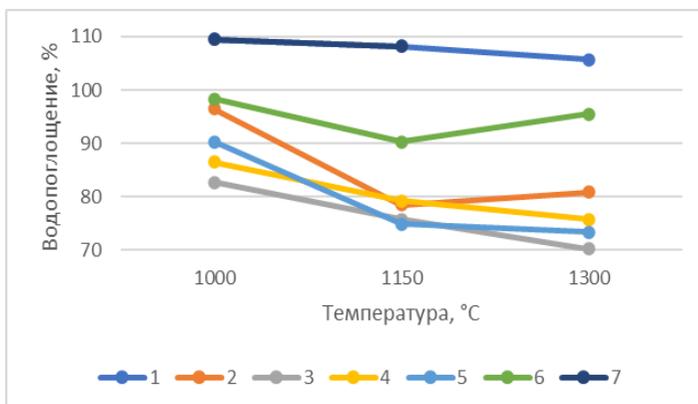


Рис. 2 – Зависимость водопоглощения от температуры обжига и состава материала.

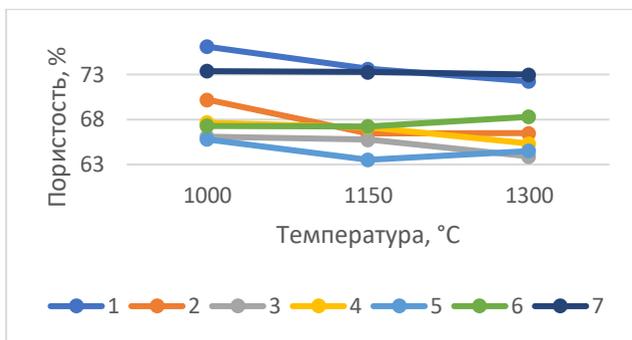


Рис. 3 – Зависимость пористости от температуры обжига и состава материала.

Увеличение содержания каолиновой ваты в образцах (рис. 1-3) приводит к снижению водопоглощения и пористости, что свидетельствует о более плотной структуре материалов. При этом образцы с 10%-м содержанием шлакощелочного вяжущего имеют более высокие показатели плотности по сравнению с образцами, содержащими 5% вяжущего. Это, в свою очередь, указывает на улучшение их эксплуатационных характеристик.

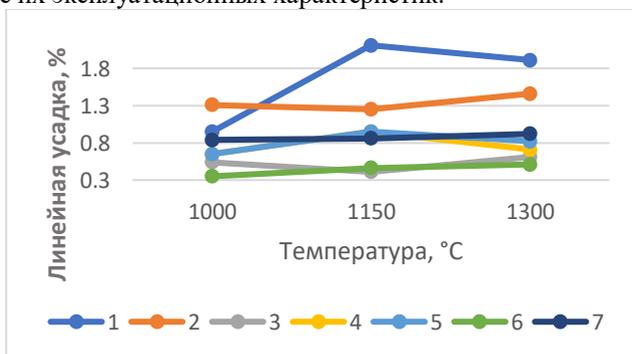


Рис. 4 – Зависимость линейной усадки от температуры обжига и состава материала.

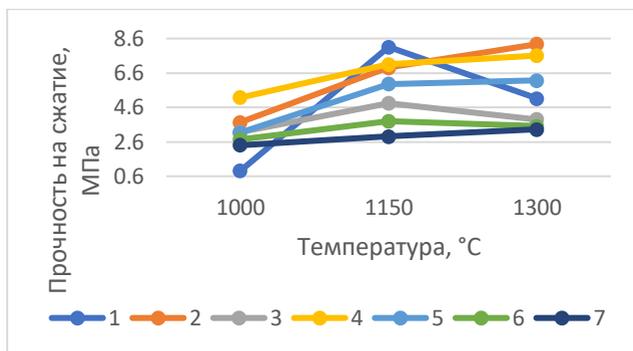


Рис. 5 – Зависимость предела прочности на сжатие от температуры обжига и состава материала.

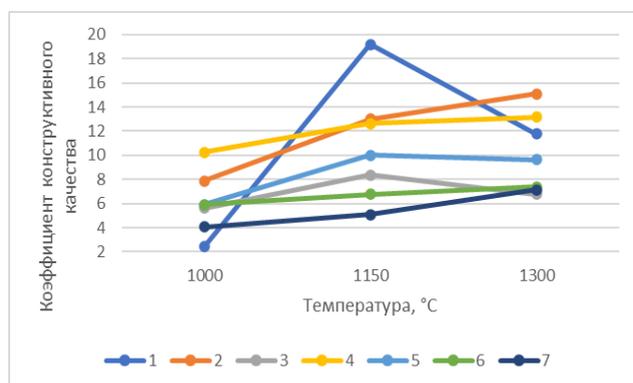


Рис. 6 – Зависимость коэффициента конструктивного качества от температуры обжига и состава материала.

На рисунке 5,6 показано, что образцы с 5%-м содержанием шлакощелочного вяжущего демонстрируют более высокую прочность и коэффициент конструктивного качества, чем образцы с 10%. Образцы, не содержащие в своем составе каолиновой ваты, характеризуются незначительной прочностью. Это указывает на оптимизацию соотношения компонентов для достижения лучших механических свойств. Повышение температуры обжига с 1000°C до 1300°C способствует увеличению коэффициента конструктивного качества, что подтверждает важность температурных режимов в процессе обработки материалов.

В ходе исследования разработаны составы высокопористых пенобетонов на основе кварцевой суспензии. Изучены основные физико-механические свойства изготовленных образцов.

Изучено влияние ввода каолиновой ваты на свойства образцов пенолегковесов. При ее введении прочность изделий увеличилась, что связано с армированием пористого каркаса материала.

Температура эксплуатации пенoкварцевых изделий – до 1100 °С.

Полученные жаростойкие изделия по основным физико-механическим характеристикам не уступают отечественным и зарубежным аналогам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евтушенко Е.И., Перетокина Н.А., Дороганов В.А., Сулейманова Л.А., Сыса О.К. Теплоизоляционные материалы на основе искусственных керамических вяжущих различного состава // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №6. с. 149-151.

2. Череватова А.В., Перетокина Н.А., Ермак Ю.Н. Совершенствование технологии получения жаростойких легковесов с применением модифицированной ВКВС // Промышленное и гражданское строительство, 2007. № 8. – С. 24-25.

3. Кашеев, И.Д. Химическая технология огнеупоров / И.Д. Кашеев, К.К. Стрелов, П.С. Мамыкин. — М. : Интермет Инжиниринг, 2007. — 752 с.

4. Кашеев, И.Д. Свойства и применение огнеупоров / И.Д. Кашеев. — М. : Теплотехник, 2004. — 352 с.

5. Иванов А.А., Ковалева Е.В., Новикова В.Н. и др. Разработка составов масс для керамического кирпича с использованием металлургических шлаков. Сборник научных трудов "Строительные материалы и изделия", 2015. – 13 - 20 с.

*Колесова А.С., Смагина А.Р., Пономарева П.С.
 Научный руководитель: Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц.
 Белгородский государственный технологический университет
 им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ С ЭЛЕКТРОКОРУНДОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

Разработка современных строительных материалов является одной из ключевых задач в области строительной науки и технологии. В последние годы наблюдается растущий интерес к использованию специализированных заполнителей, таких как электрокорунд, который обладает уникальными физико-химическими свойствами. Электрокорунд, благодаря своей высокой прочности, износостойкости и термостойкости, находит широкое применение в производстве бетонов и композитов. Исследование составов с электрокорундовым заполнителем открывает новые горизонты для создания более долговечных и эффективных строительных материалов. Цель данной статьи — рассмотреть различные составы с использованием электрокорунда, оценить их характеристики и выявить преимущества по сравнению с традиционными материалами [1;2].

Для изготовления составов связи были использованы такие материалы как электрокорунд, глинозем ГК-0 и бура. Из компонентов были составлены несколько масс, составы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы масс

Содержание компонентов			
	Суспензия, %	Заполнитель, %	TiO ₂ , %
1	33	67	0
2	33	67	0,5
3	33	67	1

Фракционный состав представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Фракционный состав корунда

№	Фракция 0,1-1 мм в %	Фракция 1-3 мм в %	Насыпная плотность г/см ²	Коэффициент упаковки
1	100	0	1,976	0,479
2	0	100	1,976	0,494
3	20	80	1,996	0,499
4	40	60	2,027	0,507
5	60	40	1,99	0,498
6	80	20	1,96	0,49

Был выбран фракционный состав с наибольшим коэффициентом упаковки- 0,507.

Композиты - это материалы, состоящие из двух или более различных компонентов, которые объединены вместе с целью получения оптимальных свойств. В композитах на основе корундовой суспензии, корундовые и карбид кремниевые частицы служат усилителем, а связующий материал играет роль матрицы, в которой находятся частицы [3;4].

Из полученной ИКВ готовились составы с добавлением заполнителя и TiO_2 для формования образцов методом вибропрессования: 1 состав – 0 % TiO_2 , 2 – 0,5 % TiO_2 , 3 – 1 % TiO_2 . Образцы после формования подвергались сушке при 100-110 °С и последующему обжигу в интервале температур 1400-1600 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч [5]. После обжига были исследованы основные физико-механические характеристики, которые представлены на рис. 1-5.

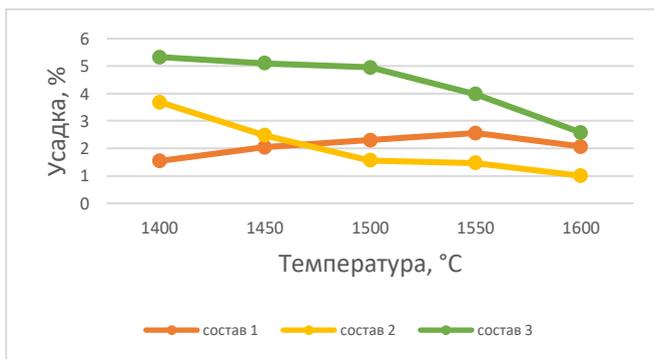


Рис. 1 – Зависимость усадки образцов от температуры обжига.

Исследования показали, что при увеличении температуры обжига усадка составов 1 и 3 постепенно снижается, а у состава 2 можно наблюдать резкое снижение усадки при меньших температурах. При добавлении 1% оксида титана минимальная усадка образцов достигается при 1600 °С, а при содержании 0,5 % TiO_2 при 1550 °С, что на 50 °С ниже, чем у образцов вышеперечисленных составов [6;7].

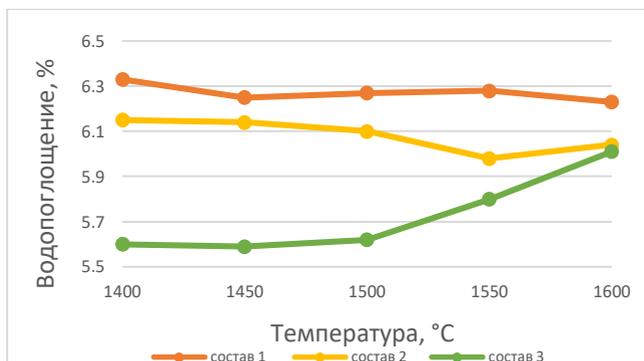


Рис. 2 – Зависимость водопоглощения образцов от температуры обжига.

Водопоглощение образцов с повышением температуры обжига у составов 1 и 2 почти не изменяется, у состава 3 наблюдается резкое увеличение водопоглощения при 1450 °C.

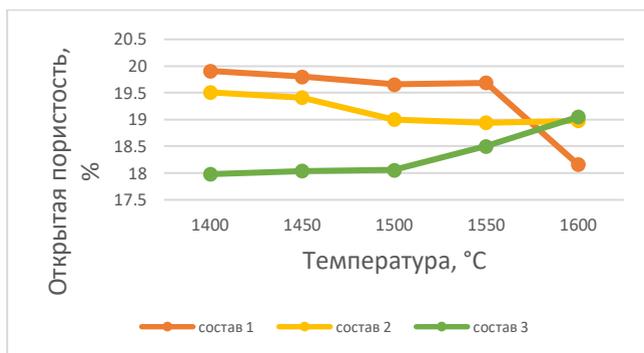


Рис.3 – Зависимость открытой пористости образцов от температуры обжига.

Аналогичная закономерность наблюдается по значениям пористости образцов. Стоит отметить, что пористость образцов 1 состава после обжига при 1600 °C имеет самые низкие значения.

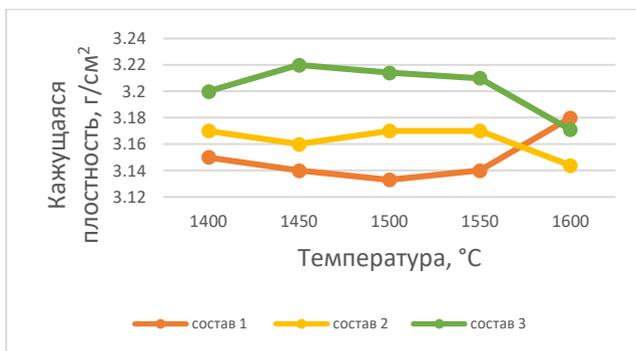


Рис. 4 – Зависимость кажущейся плотности образцов от температуры обжига.

Кажущаяся плотность образцов с повышением температуры обжига уменьшается у всех составов до минимальных значений. С добавлением оксида титана в количестве 1% наблюдается максимальное значение кажущейся плотности при 1400 °С.

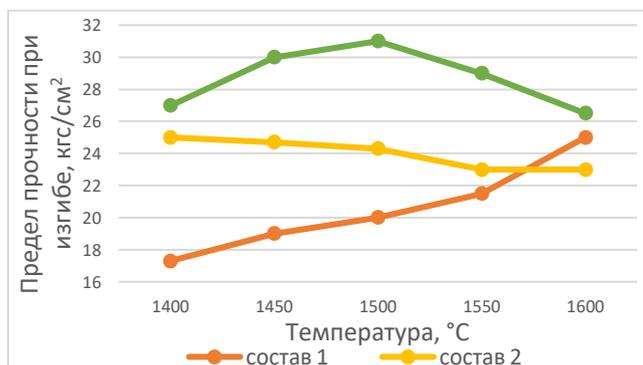


Рис. 5 – Зависимость предела прочности при изгибе образцов от температуры обжига.

С повышением температуры, прочность образцов почти не изменяется, видна тенденция снижения прочности у образцов состава 3, у образцов состава 1 без добавления оксида титана видно незначительное увеличение прочности в интервале температур 1500-1600°С.

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований была выявлена тенденция снижения некоторых физико-механических характеристик образцов при влиянии модифицирующей добавки TiO₂.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашеев, И.Д. Химическая технология огнеупоров / И.Д. Кашеев, К.К. Стрелов, П.С. Мамыкин. — М. : Интермет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
2. Кашеев, И.Д. Свойства и применение огнеупоров / И.Д. Кашеев. — М. : Теплотехник, 2004. — 352 с.
3. Тюлькин, Д.С. Сравнительный метод испытания огнеупоров на деформационные явления при высоких температурах / Д.С. Тюлькин, В.А. Богданов, П.М. Плетнёв // Сб. тр. Всероссийской научно-практической конференции «Качество и инновации — основа современных технологий», г. Новосибирск, 2012. — С. 144–151.
4. Тюлькин, Д.С. Огнеупоры для производства технической керамики / Д.С. Тюлькин, П.М. Плетнев, Ю. К. Непочатов // Вестник СГУПС. — 2014. — № 30. — С. 111–119.
5. Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С., Гуман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С. Химическая технология керамики. М.: ООО РИФ "Строиматериалы", 2012. 496 с.
6. Гавшина О.В., Дороганов В.А., Евтушенко Е.И. Разработка состава масс для производства керамобетонов корундового состава // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. №2 (33). Часть 1. С. 31 – 33.
7. Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С., Гуман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С. Химическая технология керамики. М.: ООО РИФ "Строиматериалы", 2012. 496 с.

УДК 666.3/.7

Колесова А.С., Смагина А.Р., Пономарева П.С.

Научный руководитель: Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ С КАРБИД КРЕНИЕВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

В последние десятилетия материалы на основе карбида кремния (SiC) привлекают значительное внимание благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая прочность, термостойкость и отличная химическая стойкость. Эти характеристики делают SiC идеальным наполнителем для различных композитов, которые могут быть использованы в таких отраслях, как аэрокосмическая, автомобильная и

электроника. Разработка и исследование составов с карбидом кремния открывают новые горизонты для создания высокоэффективных и долговечных материалов, способных удовлетворить требования современного производства. В данной статье мы рассмотрим методы разработки композитов с SiC, их физико-химические свойства [1;2].

Для изготовления составов связки были использованы такие материалы как карбид кремния, глинозем ГК-0 и бора.

Из компонентов были составлены несколько масс, составы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы масс

Содержание компонентов			
№	Суспензия, %	Заполнитель, %	TiO ₂ , %
1	22	78	0
2	22	78	0,5
3	22	78	1

Фракционный состав представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Фракционный состав карбида кремния

№	Фракция мелкая, %	Фракция средняя, %	Фракция крупная, %	Насыпная плотность г/см ²	Коэффициент упаковки
1	100	-	-	1,42	0,444
2	-	100	-	1,55	0,484
3	-	-	100	1,39	0,434
4	20	20	60	1,686	0,527
5	20	40	40	1,73	0,541
6	20	60	20	1,745	0,545
7	40	20	40	1,77	0,553
8	40	40	20	1,78	0,556
9	60	20	20	1,713	0,535

Был выбран фракционный состав с наибольшим коэффициентом упаковки- 0,556.

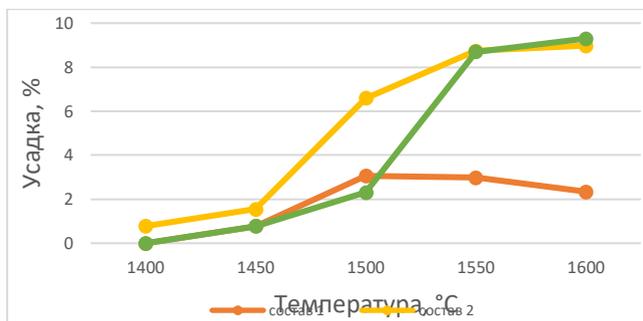


Рис. 1 – Зависимость усадки образцов от температуры обжига

В ходе исследований выявлена тенденция резкого снижения показателя усадки у составов 2 и 3 при 1550 °С, в то же время у состава 1 наблюдается увеличение усадки при 1450 °С, но в сравнении с другими составами показатель усадки более стабилен при более низких температурах [3;4].

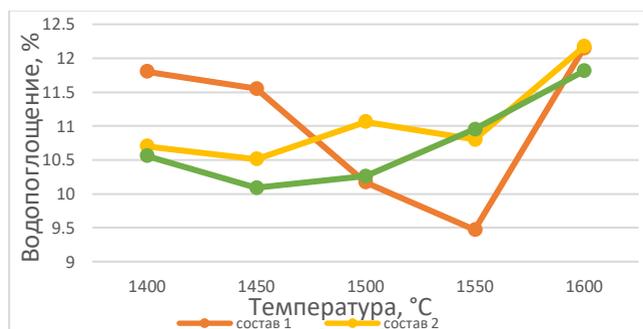


Рис. 2 – Зависимость водопоглощения образцов от температуры обжига

Водопоглощение образцов с повышением температуры обжига у составов 2 и 3 почти не изменяются с повышением температуры, у состава 1 минимальное водопоглощение достигается при более низких температурах 1550°С.

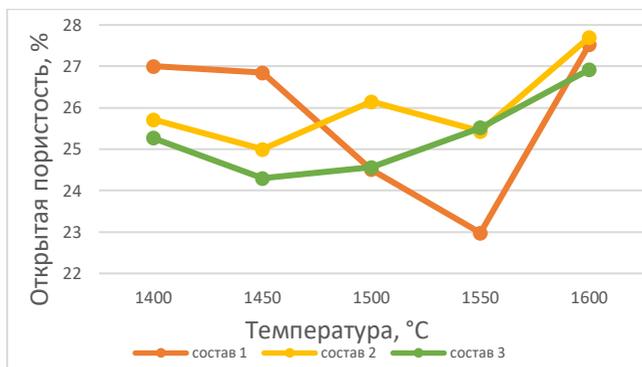


Рис. 3. Зависимость открытой пористости образцов от температуры обжига

Схожая закономерность наблюдается и у значений открытой пористости образцов. Самые низкие значения пористости имеет состав 1 при 1550°C.

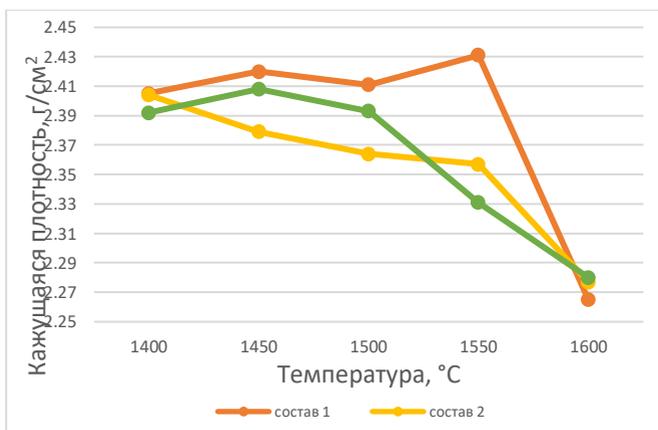


Рис. 4 – Зависимость кажущейся плотности образцов от температуры обжига.

Наименьшие показатели кажущейся плотности образцов можно наблюдать у всех составов при 1600°C. Самые максимальные показатели по данному свойству достигаются при температуре в 1550°C у 1 состава.

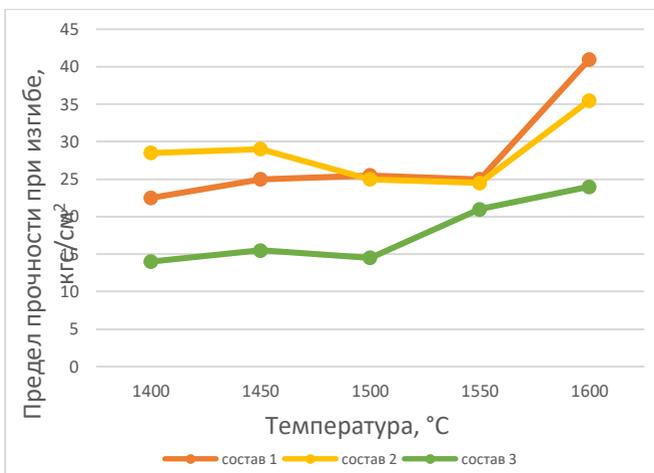


Рис. 5 – Зависимость предела прочности при изгибе образцов от температуры обжига.

С повышением температуры, прочность образцов составов 1 и 2 почти не изменяется, видна тенденция снижения прочности у образцов состава 3, у образцов состава 1 без добавления оксида титана видно незначительное увеличение прочности в интервале температур 1550-1600°C.

В ходе исследования составов с карбидом кремния было установлено, что использование данного заполнителя значительно улучшает механические и термические характеристики композитов. Полученные результаты подтверждают перспективность применения SiC в различных отраслях, где требуется высокая прочность и устойчивость к экстремальным условиям [5;6]. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к созданию новых материалов с улучшенными свойствами, что откроет новые возможности для их применения в высокотехнологичных сферах. Таким образом, разработка и исследование композитов с карбидом кремния представляют собой важный шаг к созданию более эффективных и надежных материалов для будущего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашеев, И.Д. Химическая технология огнеупоров / И.Д. Кашеев, К.К. Стрелов, П.С. Мамыкин. — М. : Интернет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
2. Кашеев, И.Д. Свойства и применение огнеупоров / И.Д. Кашеев. — М. : Теплотехник, 2004. — 352 с.
3. Тюлькин, Д.С. Сравнительный метод испытания огнеупоров на деформационные явления при высоких температурах / Д.С. Тюлькин, В.А. Богданов, П.М. Плетнёв // Сб. тр. Всероссийской научно-практической конференции «Качество и инновации — основа современных технологий», г. Новосибирск, 2012. — С. 144–151.
4. Тюлькин, Д.С. Огнеупоры для производства технической керамики / Д.С. Тюлькин, П.М. Плетнев, Ю.К. Непочатов // Вестник СГУПС. — 2014. — № 30. — С. 111–119.
5. Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С., Гуман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С. Химическая технология керамики. М.: ООО РИФ "Строиматериалы", 2012. 496 с.
6. Гавшина О.В., Дороганов В.А., Евтушенко Е.И. Разработка состава масс для производства керамобетонов корундового состава // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. №2 (33). Часть 1. С. 31 – 33.

УДК 666.1.031.1:666.12:666.242

Линец В.В.

*Научный руководитель: О니щук В.И., канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ СТЕКЛООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ШИХТЕ ДОБАВОК ОКП

В 2022 году отчет агентства ООН показал, что мир движется к дефициту кварцевого песка, поскольку является самым добываемым материалом на Земле. Ежегодные объемы добычи его исчисляются до 50 млрд. тонн, поскольку все основные строительные материалы, будь то бетон, асфальт или стекло состоят из кварцевого песка. Он применяется как наполнитель в производстве красок и полимерных материалов, стекла, керамики, кремниевых чипов и почти во всех

необходимых продуктах, без которых невозможен современный образ жизни [1].

Существует более 20 видов кварцевых песков и кварцсодержащих пород. Одним из наиболее важных видов является кремнезем. Он используется практически в каждом продукте для производства стекла и, в основном, встречается в виде кварца [2]. При обогащении кварцевых песков для стекольной промышленности образуются их отсевы, которые могут эффективно использоваться в производстве окрашенных стекол или стекол с пониженным светопропусканием. Так в производстве зеленого бутылочного стекла такие отсевы могут найти широкое применение, что и являлось предметом проведенных исследований.

При выполнении исследований было принято:

- содержание ОКП в шихте 3 масс. %.
- диапазон температур, которые использовались при проведении исследований, составлял 900 – 1500°С.
- шаг фиксированной температуры выдержки составлял температур 100°С
- время выдержки при фиксированной температуре составляло 60 мин.

Исследованиям подвергались шихты, полученные в заводских условиях.

Подготовка экспериментальных шихт с содержанием в них 3 масс. % отсевов кварцевого песка проводилась путем тщательного усреднения как шихт, так и отсева с последующим сокращением их массы методом квадратования, до требуемых количеств: 97 г. шихты и 3 г. отсева. Суммарный вес проб, подвергавшихся термообработке, составлял по 100 г для каждого этапа.

Термообработка в интервале температур 900 – 1500°С проводилась в корундовых тиглях.

После термообработки тигли подвергались распиловке для оценки интенсивности протекания процессов стеклования заводских шихт с отсевом кварцевых песков.

Результаты макросъемки тиглей со спеками и остеклованными шихтами, термообработанными при различных температурах, представлены на рис. 1.

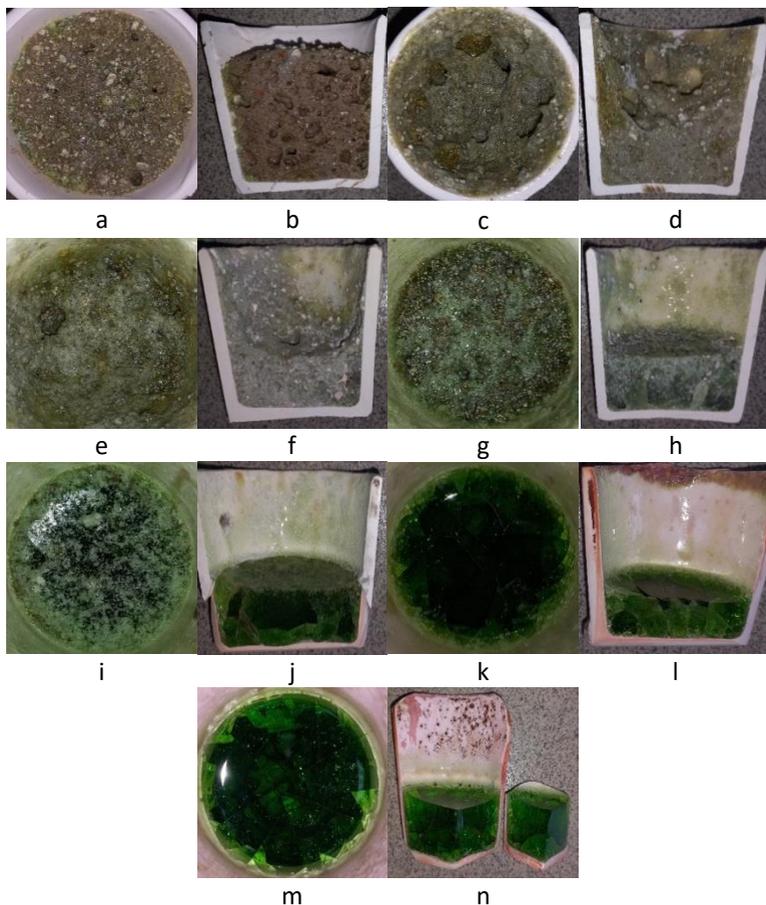


Рис. 1 – Макрофотографии тиглей со спеками и остеклованными шихтами после термообработки при разных температурах: *a* – 900°C; *b* – 900°C; *c* – 1000°C; *d* – 1000°C; *e* – 1100°C; *f* – 1100°C; *g* – 1200°C; *h* – 1200°C; *i* – 1300°C; *j* – 1300°C; *k* – 1400°C; *l* – 1400°C; *m* – 1500°C; *n* – 1500

На приведенных макрофотографиях видно, что при 900°C в спеке начинает образовываться стеклофаза (микроучастки расплава).

Далее процессы трансформации шихты в стекломассу значительных особенностей не имеют и протекают по известной последовательности процессов стекловарения. Так уже при температуре 1300°C фиксируется образование достаточного количества расплава, который практически дегазован, и только на поверхности

имеет место остаточная твердая фаза – растворяющихся зерен кварцевого песка. Последующее повышение температуры до 1400°C обеспечивало практически полное образование стекломассы, в которой еще наблюдается не полное «осветление», качественная дегазация (учитывая малые объемы тигля и отсутствие движения стекломассы в них) была достигнута при 1500°C.

Анализ микрофотографий, полученных при помощи оптического микроскопа, показал, что исследуемый диапазон температур обеспечивает интенсивный процесс стеклования и получение окрашенной стеклотары, приближенной по цветовым характеристиками к стеклу марки ЗТ-2 [3].

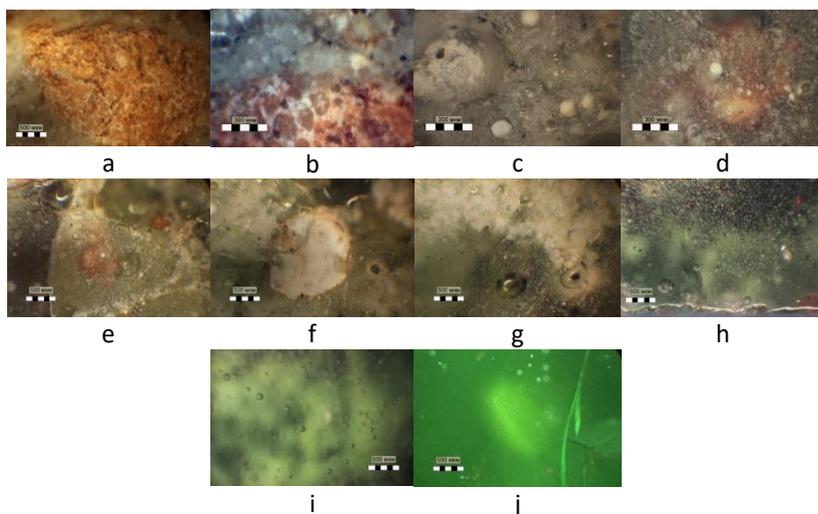


Рис. 2 – Микрофотографии тиглей со спеками и остеклованными шихтами после термообработки. *a* – Конгломерат отсева кварцевого песка в окружении «нарабатываемого» расплава; *b* – Ассимиляция конгломерата отсева кварцевого песка в «нарабатываемый» расплав; *c* – Декарбонизация известняка (доломита) и образования простого силиката; *d* – Начало активной дегазации расплава; *e* – Стекло с включениями отсевов кварцевого песка, содержащего железистые минералы; *f* – Участки термообработанных при 1200°C шихт, трансформированных в расплав стекла; *g* – Вид стекла, полученного при температуре 1300°C; *h* – Микрофото стекла, полученного при 1400°C; *i, j* – Микрофото стекол, полученных при температуре 1500°C.

На рис. 2. *a* представлен вид конгломерата отсева кварцевого песка, обогащенным оксидами железа в окружении «нарабатываемого» расплава при температуре 900°C.

На рис. 2.б показана граница ассимиляции конгломерата отсева кварцевого песка в окружающий расплав состава легкоплавкой эвтектики, предположительно дисиликата натрия [4], при температуре 900°С.

На микрофото (рис. 2.с) представлена область декарбонизации известняка (доломита) при температуре 1000°С. При такой температуре отмечается активная декарбонизация с образованием определенного количества газовой фазы – пузырей. Содержащих в своем составе диоксид углерода – CO₂.

В левом верхнем углу (рис.2.с) находится область, которая представляет собой образования простых легкоплавких силикатов, которая «нарабатывает» расплав стекла.

При нагреве шихты до 1000°С отмечается активизация «накопления» расплава стекла, снижение вязкости участков низкотемпературно расплава и активная термическая диссоциация карбонатов шихты, что сопровождается образованием значительного количества микропузырьков газовой фазы (рис. 2.д).

Повышение температуры обработки пробы шихты до 1100°С обеспечивает увеличение объема стеклофазы и активизации процесса дегазации (рис. 2.е). Вместе с тем, следует отметить, что частички энстатита, обогащенного ферросилитом, Fe₂[Si₂O₆] в силу своей тугоплавкости еще мало растворены в расплаве стекла [4].

В результате термообработки пробы шихты при температуре 1200°С процессы стеклования ускорятся в большей степени. Так в расплаве стекла еще наблюдается наличие остаточных зерен предположительно отсева кварцевых песков (рис. 2.ф) и участков «варочной» пены, граничащей с «осветляемой» стекломассой.

Высокий потенциал стеклования заводской шихты и скорость дегазации проявляются уже при температуре 1300°С, т. е. при температуре ее загрузки в печь. В основном объеме тигля присутствует стекломасса. Только на поверхности тигля отмечается варочная пена (рис. 1.и).

Микрофотосъемка стекломассы, полученной при температуре 1300°С (рис. 2.г) показывает, что в поверхностном слое стекла содержится еще значительное содержание мошки и несколько зерен не растворившегося в стекломассе отсева кварцевого песка, хотя при этой температуре начинается процесс окрашивания стекла. Вместе с тем, в наблюдаемой области имеют место более крупные пузырьки газов, что показывает на незавершенность процесса «осветления» стекла.

Микрофотографии стекла, полученного из заводской шихты с отсевом кварцевого песка при температуре 1400°С дают основания говорить, что при этой температуре в течение 1 ч. процессы стеклования прошли полностью, а в объеме стекла присутствуют только газообразные включения (рис. 2. *h*).

Также следует добавить, что дегазация стекла при температуре 1500°С, полученного из заводской шихты с отсевом кварцевого песка, в течение 1 ч позволяет получать практически «осветленное» стекло (рис. 2. *j*), а наличие в нем незначительного содержания газовых пузырьков (рис. 2. *i*) объясняется отсутствием в тигле процессов движения стекломассы (конвективных потоков). В целом же, «осветлительный» потенциал заводской шихты с отсевом кварцевого песка можно характеризовать как высокий.

Таким образом, в результате исследования интенсивности процессов стеклования заводских шихт без и с добавкой ОКП в широком температурном интервале, существенных отличий выявлено не было, следовательно, добавки ОКП для варки стекла марки ЗТ-2 могут использоваться без корректировки параметров традиционных режимов варки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vander Velpen A. et al. Sand and sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis. – 2022.
2. Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. Sand and sandstone. – Springer Science & Business Media, 2012.
3. ГОСТ 34382-2017 Упаковка стеклянная. Стекло. Марки стекла.
4. В.В. Линец, Исследование возможности использования кварцитопесчаников Междуреченского месторождения для производства стеклянной тары / В.В. Линец, В.И. Онищук // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Сборник докладов, Белгород, 20–21 мая 2024 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 93-98. – EDN ASUZSU.

Продан Н.Ф., Сабинин Н.А.

*Научный руководитель: Перетоккина Н.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАССЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОРУНДОВЫХ ОГНЕУПОРОВ

Легковесные корундовые изделия успешно применяют для высокотемпературной изоляции, используемой во многих отраслях промышленности, в том числе особенно широко применяются в металлургическом и огнеупорном производстве [1-4].

В настоящее время выпускаются корундовые легковесные изделия в основном методом выгорающих добавок с использованием в качестве выгорающей добавки древесные опилки [5]. В данной работе нами рассмотрена возможность использования вместо древесных опилок коксика.

Одним из направлений совершенствования технологического процесса производства корундового легковеса является замена способа формования изделий – литья.

Наиболее перспективным для этой цели может быть метод формования при помощи вибрации, который возможно использовать при производстве корундового легковеса с коксика. Его использование не требует изменения технологического процесса подготовки сырья и приготовления массы. Режим формования: амплитуда колебаний 1,2-2,0 мм; вес пригруза 10 кг; время вибрации 60-90 сек.

Для того чтобы сравнить материалы между собой, в работе использовался коэффициент конструктивного качества.

Все теплоизоляционные конструкционные материалы условно можно разделить по значениям коэффициента конструктивного качества на 4 группы (коэффициент A дан в традиционно используемой размерности, при $R_{сж}$ – в $\text{кг}/\text{см}^2$, а плотность – $\text{г}/\text{см}^3$):

- малоэффективные с A менее 50;
- эффективные – A 50-125;
- высокоэффективные – A 125-200;
- суперматериалы (бетоны) с A более 200.

Далее коэффициент конструктивного качества показан в системе СИ, что на порядок меньше, чем в показанной классификации [6].

Методом виброформования были изготовлены составы опытных образцов размером 115x115x65 мм, шихтовой состав которых приведен

в табл. 1. Содержание опилок и коксика приведено свыше 100 %. Содержание технического глинозема в экспериментальных образцах составляло 95 %, а мела – 5 % .

Таблица 1 – Шихтовой состав масс

№ состава	Время формования								
	60			75			90		
	Содержание опилок								
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Содержание кокса									
1	0			0			0		
2	4			4			4		
3	8			8			8		
4	12			12			12		
5	15			15			15		

Далее опытные изделия сушились и направлялись на обжиг в туннельную печь (сушка и обжиг происходили по установленному действующей технологией режиму $T_{обж} - 1470-1500^{\circ}C$).

Прочность корундового легковеса с увеличением в массе количества выгорающей добавки снижается однако по требованиям 5040-2015 ГОСТа прочность должна быть не ниже 3,5 МПа этим требованиям отвечают составы находящиеся в области содержание опилок 10 % и кокса 3 %.

Из результатов опытов определяем, что оптимальная плотность материала достигается путём введения в состав 12 % нефтяного коксика и содержания 10% опилок. Той же плотности, можно добиться введением опилок до 15%, а содержание коксика снизить до 11%. Время формования при этом изменяется с 73 с до 75 секунд.

С увеличением содержания в составе материала коксика до 15 % коэффициент конструктивного качества (А) растет с 16-20 до 26-30. Состав, который имеет А наибольший, содержит в своем составе до 5 % опилок и около 15 % коксика, время виброформования при этом составит 60 секунд. Установлено, что в зависимости от используемых материалов коэффициент конструктивного качества для данной технологии может изменяться от 15 до 32, т.е. по вышеприведенной

классификации полученный легковесный материал можно отнести к высокоэффективным и суперматериалам.

Результаты исследований теплопроводности полученного материала представлены на рис. 1. Теплопроводность корундового легковеса должна соответствовать требованиям 5040-2015 ГОСТ [7].

Наибольшее влияние на теплопроводность любого материала оказывает его плотность, при изменении времени формования легковеса его плотность существенно не изменяется, поэтому исследования теплопроводности проводились только на составах, длительность формования которых составляла 60 сек. Полученные легковесы имеют теплопроводность от 0,55 до 1,2 Вт/(м·К). Увеличение содержания в материале коксика уменьшает теплопроводность с 1,21 до 0,8 Вт/(м·К), добавление в массу древесных опилок приводит к дальнейшему снижению теплопроводности до 0,6 Вт/(м·К). Таким образом, увеличение содержания выгорающих добавок (коксика и древесных опилок) уменьшают теплопроводность материала. Минимальной теплопроводности можно достичь при введении в состав массы 15 % коксика и около 13 % опилок.

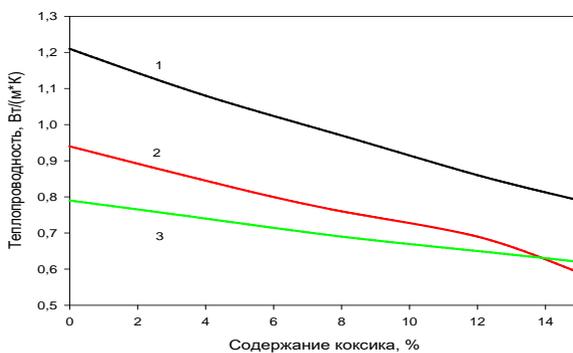


Рис. 1 – Зависимость теплопроводности корундового легковеса после обжига от содержания коксика и опилок в массе: 1 – 5 % опилок; 2 – 10 %; 3 – 15 %

Анализируя полученные данные, был сделан следующий вывод, что при замене опилок на нефтяной кокс получаются самые оптимальные технологические показатели, после обжига образцы соответствовали размерам, не было заметного коробления, как бывает при применении опилок.

Замена существующей технологии производства корундового легковеса на технологию при которой используется в качестве выгорающей добавки коксик позволяет:

- снизить влажность массы с 35-37% до 20-25%;
- переход от формования методом литья к формованию методом виброформования;
- сушка сырца производится не в металлических формах, а на полочных вагонетках, преимуществом является исключение из него таких трудоемких процессов как разливка и извлечение высушенного сырца из форм;
- уменьшение усадки при сушке и огневой усадки при обжиге;
- сокращение срока сушки с 10 ч до 7,5 ч
- возможно уменьшение температуры обжига.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. М.: Стройиздат, 1980. 396 с.
2. Горяйнов К.Э., Горяйнова С.К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. М.: Стройиздат, 1982. 376 с.
3. Воронов Г.В., Старцев В.А. Огнеупорные материалы и изделия в промышленных печах и объектах вспомогательного назначения. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 303 с.
4. Евтушенко Е.И., Перетокина Н.А., Дороганов В.А., Сулейманова Л.А., Сыса О.К., Бедина В.И., Миженина О.В. Теплоизоляционные материалы на основе искусственных керамических вяжущих различного состава / Евтушенко Е.И., Перетокина Н.А., Дороганов В.А., Сулейманова Л.А., Сыса О.К., Бедина В.И., Миженина О. В. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2013. — № 6. — С. 149-151.
5. Шубин В.Н. Производство корундового легковеса // Огнеупоры. 1971. №3. С 30–32.
6. И.В. Бессонов, А.Н. Сапелин Коэффициенты структуры как критерий оценки теплотехнического качества строительных материалов / И.В. Бессонов, А.Н. Сапелин // Строительные материалы. — 2012. — № 6. — С. 26-29.
7. Вареникова Т.А., Смирнова М.А., Дороганов В. А. Корундовые легковесные огнеупоры на основе гидравлических вяжущих / Вареникова Т.А., Смирнова М.А., Дороганов В.А. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. — 2017. — № 5. — С. 64-69.

*Смагина А.Р., Колесова А.С., Трепалин Д.В.
Научный руководитель: Трепалина Ю.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА ЛЕГКОПЛАВКОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКИ ДЛЯ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработка составов керамической связки требует тщательного исследования и оптимизации различных физико-химических и технологических параметров. Главной целью является достижение оптимального сочетания прочности, твердости, стабильности и износостойкости связки, чтобы обеспечить эффективную работу абразивного материала [1].

Керамическая связка, используемая в абразивных инструментах, состоит из тонкомолотых сырьевых материалов, таких как фритты, песок, каолин, полевой шпат и другие компоненты [2]. Она обладает хрупкостью, что делает инструменты на ее основе чувствительными к ударной нагрузке. Тем не менее, керамическая связка широко применяется благодаря высокой производительности, необходимой пористости, эффективному отводу тепла, водостойкости, высокой прочности и жесткости, а также химической стойкости к агрессивным средам. В процессе термической обработки абразивных инструментов происходят сложные физико-химические превращения, включающие дегидратацию, расплавление легкоплавких компонентов и разрушение органических связующих веществ. Кроме того, происходит расплавление основного стеклообразующего компонента связки с последующим взаимодействием этого расплава с абразивным материалом. В результате этих процессов связки превращаются в стекла, которые при кристаллизации образуют разнообразные минералы, такие как анорит, муллит и другие [3].

Разработка связки с применением легкоплавкой фритты основана на получении легкоплавких стекол. Для получения такого рода стекол были разработаны составы с использованием кварцевого песка, стекольного боя, кальцинированной соды (Na_2CO_3), буры, углекислого кальция (CaCO_3), калия (K_2CO_3), а также лития (Li_2CO_3). Помол компонентов проводили в шаровой мельнице до остатка на сите 0063 в количестве 1 - 1,5 %. Далее компоненты смешивали и формовали образцы. Обжиг первых образцов проходил в муфельной печи при

температурах 1000 °С, далее путем изменения составов пришли к температуре спекания образцов равной 700-600 °С.

Для интенсификации процесса спекания было предложено использовать буру, так как она способствует снижению температуры спекания, а также вязкости расплава, препятствует расстеклованию, что приводит к увеличению прочности, стойкости к механическому, химическому и термическому воздействию конечного продукта [4].

Из компонентов были составлены несколько масс, составы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Температуры начала силикатообразования связок

№	Компоненты, %								Температура, °С
	SiO ₂	Na ₂ CO ₃	NaNO ₃	KNO ₃	K ₂ CO ₃	CaCO ₃	Ca(NO ₃) ₂	N ₂ B ₄ O ₇ * 10H ₂ O	
1	50	10	-	-	15	20	-	5	950-1000
2	50	15	-	-	20	10	-	5	800-900
3	50	20	-	-	20	5	-	5	750-800
4	50	15	-	-	20	5	-	10	750-800
5	50	-	20	20	-	-	-	10	850-900
6	50	-	15	10	-	-	15	10	850-900
7	50	-	10	20	-	-	5	10	800-850
8	60	10	-	-	15	5	-	10	850-900
9	50	15	-	-	20	-	-	15	700-750
10	50	20	-	-	20	-	-	10	800-850
11	50	15	-	-	25	-	-	10	700-750

Исходя из таблицы стало известно, что увеличение содержания поташа в массе положительно сказывается на снижении температуры силикатообразования. Составы масс 9 и 11 являются самыми подходящими для дальнейших испытаний. В качестве абразивных наполнителей для керамических связок были подобраны карбид кремния и электрокорунд (белый) с фракциями 160-125 мкм (12) и 100-80 мкм (8).

Разработанные составы связок и наполнители смешивались в соотношении 1:1:1 (связка:заполнитель (12):заполнитель (8)), влажность составила 3% от общей массы. Формование образцов размером 15 × 60 × 8 мм проводилось на лабораторном гидравлическом прессе типа П-10 при удельном давлении прессования 44,1 МПа. Обжиг

осуществлялся при температуре 625-650 °С с выдержкой при максимальной температуре 30 минут, далее готовые образцы подвергались дальнейшим испытаниям (определение истираемости абразивных плиток, определение прочности на изгиб).

Лабораторное определение истираемости материалов осуществляется с использованием специальной машины, известной как круг истирания. Основным элементом данного устройства является чугунный вращающийся диск, к которому под давлением прижимается испытуемый образец. Круг вращается, создавая относительное движение между образцом и абразивным материалом, который подсыпается на круг в определенном количестве. Потери в массе образцов после прохождения данного пути служат показателем сопротивления износу материалов [5].

Результаты испытания приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Определение истираемости плиток абразивного материала

№ образца	Масса образца, г		Площадь образца, см ²	Истираемость, г/см ²
	До испытания	После испытания		
1.1 ¹	38,6	38,0	25,0	0,024
2.1 ²	40,4	40,1	25,0	0,012
1.2 ³	38,6	32,0	25,0	0,26
2.2 ⁴	40,1	39,0	25,0	0,048

Испытания на изгиб керамических материалов проводились на рычажных установках со съемными опорами, используя метод трехточечного нагружения образца. Нагрузка, зафиксированная в момент разрушения образца с погрешностью $\pm 2\%$, принимается для расчета предела прочности при изгибе [6].

Результаты испытания приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Определение прочности при изгибе образцов абразивного материала

№ образца	Предел прочности при изгибе, МПа
1.1	4,94
2.1	4,99
1.2	2,31
2.2	2,78

¹9 связка + карбид кремния

²11 связка + карбид кремния

³9 связка + электрокорунд

⁴11 связка+ электрокорунд

В ходе проведенных исследований было выявлено, что разработанная керамическая связка №11 демонстрирует наиболее высокие эксплуатационные характеристики и обладает универсальностью в применении с электрокорундом и карбидом кремния.

Было установлено, что образцы абразивного инструмента на основе электрокорунда имеют следующие показатели: водопоглощение составляет 15,37%, плотность - 2,01 г/см³, пористость - 30,78%, а прочность достигает 2,54 МПа. При использовании карбида кремния в качестве наполнителя, водопоглощение снижается до 10,40%, плотность незначительно увеличивается до 2,03 г/см³, пористость составляет 21,12%, а прочность достигает 4,96 МПа.

Таким образом, разработанная керамическая связка №11 обладает наиболее высокой эффективностью и стойкостью при работе с электрокорундом и карбидом кремния. Это позволяет существенно улучшить качество обработки поверхностей и повысить производительность технологических процессов. Сравнительно низкая температура обжига (625-650 °С) снижает энергозатраты и улучшает экологические показатели производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоусов В.М., Кузнецов В.В., Лебедев В.А. Технология и оборудование производства абразивных материалов. Москва: Машиностроение, 2005. - 215 с.

2. Производство абразивных материалов / А.С. Полубелова, В.Н. Крылов, В.В. Карлин и др., Под ред. В.Н. Крылова. Л: Машиностроение, 1968. - 296 с.

3. Михайлов В.А., Кузнецов В.В., Лебедев В.А. Технология и оборудование производства абразивных материалов. Москва: Машиностроение, 2018. – 201 с.

4. Ковальчук Ю.М. Развитие производства абразивного, алмазного и эльборного инструмента. М.: Машиностроение, 1976. - 32 с.

5. Белоусов В.М., Горбунов А.В., Лебедев В.А. Абразивные материалы и технологии. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 23 с.

6. Бондаренко Д.О., Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Изофатова Д.И., Дюмина П.С., Волошко Н.И. Энергосберегающая технология получения силикат-глыбы для производства жидкого стекла

// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. - С. 111–115.

УДК 666.3.022

Трепалин Д.В., Ковалев С.В., Смагина А.Р.
Научный руководитель: Трепалина Ю.Н. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛОПЛАСТИЧНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛКОФРАКЦИОННОГО КЕРАМЗИТА

Материалы керамзитовой структуры являются распространенной группой керамических строительных материалов. Используются они как отдельный вид изделий для утепления зданий и перекрытий, так и как заполнители для других строительных материалов (керамзитобетонные блоки, панели и т.п.). Получают керамзитовые материалы путем вспучивания глинистого сырья при увеличении в объеме материала за счет образования преимущественно замкнутой пористой структуры. [1]

Процесс вспучивания состоит из двух стадий: первая – спекание с образованием закрытых пор, вторая – увеличение объема под действием выделяющихся внутри материала газов. На образование газов влияет как минералогический состав сырья, так и введение корректирующих добавок, которые могут влиять так же и на возникновение пиропластического состояния. Оно наступает в результате накопления достаточного силикатного расплава (жидкой фазы). На этот процесс сильное влияние оказывает химический характер газовой среды. Восстановительная среда резко интенсифицирует процесс накопления жидкой фазы. Поэтому введение в массы притирных огарков способствует дополнительному выделению газов в керамзите при переходе Fe_2O_3 в FeO .

Использование мало вспучивающегося сырья позволяет расширить сырьевую базу для производства керамзитовых материалов. Для примера были исследованы глины Белгородской и Тульской области, а также несколько корректирующих добавок. Глина Харлановского месторождения относится к умеренно пластичным (ЧП=10), а глина Пореченская (Тульская обл.) – среднепластичная (ЧП=19). Добавление глины в небольшом количестве позволит создать дополнительный каркас первичного муллита и повысить прочностные характеристики в дальнейшем. Важнейшее значение имеет

использование в качестве сырьевой базы техногенного сырья — крупнотоннажных отходов. При этом решается важнейшая экологическая задача обезвреживания и утилизации большого объема отходов. Решается проблема предотвращения загрязнения окружающей среды, а также получения полезных высококачественных материалов — гравия, щебня для дорожного строительства.

Химический состав сырьевых компонентов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав компонентов

Компоне нты	Содержание в массе, %								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Mg O	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
Харланов ская глина	66,9	0,82	19,24	5,2	1,8	2,85	2,15	0,57	0,02
Пореченс кая глина	54,1	0,78	27,14	8,57	2,1	2,68	3,2	0,2	0,02
Пиритны е огарки	20,5	0,17	6,16	62,4	1,99	1,36	0,51	0,35	3,76
Пыль электроф ильтра КП	64,9 9	0,82	19,21	5,71	2,64	2,93	2,2	0,56	0,13
Железная руда	7,59	0,09	3,00	87,7 1	0,49	0,88	0,02	-	0,01

В процессе проведенных исследований были разработаны несколько составов их глины Харлановского месторождения для определения интервала вспучивания. Составы приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Содержание компонентов в составах масс

Составы сырьевых масс	Содержание сырьевых компонентов, %							Примечание
	глина Х	глина П	ДТ	ПО	ЖР	ПЭ	ЗУ	
Состав 1	100,0							ТК
Состав 2	100,0		1,0*					ЛК**
Состав 3	90,0	10,0	1,0*		3,0*	2,0*		ЛК**
Состав 4	90,0	10,0		3,0*		2,0*		ТК
Состав 5	90,0	10,0	1,0*	3,0*		2,0*		ЛК**

Где: 1. легкоплавкая глина Харлановского месторождения (Белгородская область) – глина Х;

2. легкоплавкая глина Пореченского месторождения (Тульская область) – глина П;

3. огнеупорная глина Латненского месторождения (Воронежская область) – глина ЛТ;
4. дизельное топливо - ДТ;
5. пиритные огарки АО «Аммофос», г. Череповец, Вологодская область - ПО;
6. железная руда ООО «Яковлевский ГОК», п. Яковлево, Белгородская область - ЖР;
7. пылеунос из электрофильтра керамзитового производства АО «Завод ЖБК-1», г. Белгород – ПЭ.

Испытания проходили в интервале температур 1130 – 1210°С. Введение минеральных кристаллизаторов из отходов производств, позволяет создать пористую структуру керамзитового гравия в минимальных объемах гранул [3].

Интенсивность измельчения [4] и уменьшение размера частиц влияет на плотность прилегания поверхности зерен друг к другу. Это позволяет увеличить площадь соприкосновения и активизировать спекание в материале. Что позволяет образовываться большему количеству жидкой фазы.

Проведенные исследования позволяют создать керамический наполнитель с прочностными характеристиками, соответствующими требованиям отечественного стандарта ГОСТ 32496-2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия» [2], предназначенные для изготовления современных конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных бетонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики /М.И. Роговой/ – М.:Стройиздат. 1974. – 320 с.
2. ГОСТ 32496-2013. «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия». Межгосударственный стандарт; введ.2015-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2014.
3. Василенко Т.А. Физико-механические свойства керамзитового гравия, полученного с использованием электросталеплавильного шлака / Т.А. Василенко, М.П. Ламакина// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2016. - №6. - С.187 - 196.
4. Севостьянов В.С., Михайличенко С.А., Ильина Т.Н., Маркидин А.А., Сиваченко Т.Л. Способы совершенствования измельчителей ударного действия на основе многостержневых рабочих органов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №4. С. 87-90.

Оглавление

Акименко А.В., Солгалов В.В.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К МОДИФИКАЦИИ ГИДРИДА
ЦИРКОНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ В
ЯДЕРНЫХ И ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ 3

Баринов Р.А., Ручий А.Ю., Сидельников Р.В.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ЛЬНА
В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 6

Варфоломеева С.В.

СТЕНОВАЯ КЕРАМИКА, МОДИФИЦИРОВАННАЯ
МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИМИ ТЕХНОГЕННЫМИ ОТХОДАМИ
..... 11

Гхебремедхин К.В.

ЗАДАЧИ РЕФОРМИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО СЕКТОРА С
АКЦЕНТОМ НА МЕСТНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В
ГОСУДАРСТВЕ ЭРИТРЕЯ 16

Дудина Е.И.

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАСС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ НА ОСНОВЕ ГЛИНЫ
ЧИБИСОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ПОВЫШЕННЫМ
СОДЕРЖАНИЕМ МЕЛА 21

Колесова А.С., Пономарева П.С.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВКВС ОКСИДА
АЛЮМИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ШАРИКОВ –
НОСИТЕЛЕЙ КАТАЛИЗАТОРОВ 25

Колесова А.С., Пономарева П.С., Смагина А.Р.

ПОЛУЧЕНИЕ АРМИРОВАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ 31

Колесова А.С., Смагина А.Р., Пономарева П.С.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ С
ЭЛЕКТРОКОРУНДОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ 37

Колесова А.С., Смагина А.Р., Пономарева П.С.	
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ С КАРБИД КРЕНИЕВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ	41
Линец В.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ СТЕКЛООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ШИХТЕ ДОБАВОК ОКП	46
Продан Н.Ф., Сабинин Н.А.	
РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАССЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОРУНДОВЫХ ОГНЕУПОРОВ	52
Смагина А.Р., Колесова А.С., Трепалин Д.В.	
РАЗРАБОТКА ЛЕГКОПЛАВКОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКИ ДЛЯ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	56
Трепалин Д.В., Ковалев С.В., Смагина А.Р.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛОПЛАСТИЧНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛКОФРАКЦИОННОГО КЕРАМЗИТА	60