

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия архитектуры
и строительных наук
Ассоциация строительных вузов
Правительство Белгородской области
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова

**Международная научно-практическая
конференция, посвященная 65-летию
БГТУ им. В.Г. Шухова**

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ИННОВАЦИИ
(XXIII научные чтения)**



**Сборник докладов
Часть 1**

**29 апреля
Белгород 2019**

УДК 001.2
ББК 72+65.291
М 43

Наукоемкие технологии и инновации: эл. сб. докладов
М 43 Междунар. науч.-практ. конф., Белгород: Изд-во БГТУ, 2019.
– Ч. 1. – 164 с.

ISBN 978-5-361-00698-4

В сборнике представлены результаты исследований, направленных на совершенствование и разработку новых эффективных технологий производства строительных и композиционных материалов

Материалы сборника предназначены для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и производственных организаций и могут быть полезны для преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов вузов.

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. И.Н. Борисов,
д-р техн. наук, проф. В.С. Бессмертный.

УДК 001.2
ББК 72+65.291

ISBN 978-5-361-00698-4

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Килошова Н.В. Влияние обработки древесины сосны органо-минеральным раствором на ее поверхностное натяжение	6
Бабаев З.К., Джуманиязов З.Б., Джаберганов Дж.С. Механоактивация лессовидного суглинка и возможности производства высококачественного кирпича в условиях Узбекистана	11
Бессмертный В.С., Яловенко Т.А., Варфоломеева С.В., Назарова С.П. Инновационная энергосберегающая технология получения защитно-декоративных покрытий на листовых строительных стеклах	18
Бондаренко Н.И., Яловенко Т.И., Сопотов И.А., Даценко А.О. Энергосберегающая технология получения смальты на основе боя тарных цветных стекол	21
Братчун В.И., Беспалов В.Л. Модифицированные дорожные асфальтобетоны повышенной долговечности	25
Булгаков М. Основные идентификационные признаки геокомпозитов	31
Дороганов В.А., Вареникова Т.А., Яшкин А.Н. Влияние добавки перлита на физико-механические свойства корундовых легковесных огнеупоров на основе гидравлических вяжущих	36
Дороганов В.А., Неверова Е.В. Исследование свойств систем искусственных керамических вяжущих полученных на основе полевого шпата и песка	40
Дороганов Е.А., Сыса О.К., Шакурова Н.В. Влияние способа формования на микроструктуру и морозостойкость керамического кирпича	46
Егорова А.Д., Алексеева А.Н., Ефремова С.Е., Ноговицина О.Н. Исследование структуры и свойств глинистого сырья Республики Саха (Якутия)	51
Ерофеев В.Т., Дергунова А.В., Аль Дулайми С.Д.С. Исследование биобетонов и их применение	56
Ерыгина А.О., Мишин Д.А., Никитина М.А. Взаимодействие оксида калия с трехкальциевым алюминатом	60

Жуманиязов М.Ж., Бабаев З.К., Ходжаев А.Ш., Юсупова М.Р. Сырьевые источники приаралья для производства портландцемента в Узбекистан.....	64
Зайченко Н.М., Нефедов В.В. Кислотно-основные характеристики поверхности наполнителя полимерного композита на основе золы- уноса теплоэлектростанций	69
Клименко В.Г. К вопросу проектирования состава многофазовых гипсовых вяжущих.....	74
Косенко Н.Ф., Филатова Н.В., Пимков Ю.В., Муллитсодержащие композиционные материалы на основе активного кремнезема	79
Кочерженко А.В., Марушко М.В., Рябчевский И.С. Пенополиуретановая теплоизоляция с улучшенными эксплуатационными свойствами.....	84
Лазарева Е.А. Решение проблемы деградации никромовых сплавов в условиях высокотемпературной коррозии	89
Лазарева Е.А., Садчикова И.Н., Тышлангян Ю.С., Лазарева Г.Ю. Виды декоративно-отделочных материалов для дизайна архитектурной среды и строительства.....	95
Минько Н.И., Добринская О.А., Добринский М.В. Гидроксильные группы в структуре силикатного стекла	104
Морева И.Ю., Вареникова Т.А., Кириллова Н.К. Аддитивные технологии в производстве керамических изделий.....	109
Нелюбова В.В., Усиков С.А., Масанин О.О. Особенности сырьевого состава смеси для высокопрочных бетонов в России	112
Низина Т.А., Володин В.В., Бальков А.С. Дегидратированная глина как эффективная минеральная добавка для бетонов.....	116
Новоселов А.Г., Вакуленко Е.А., Ершова Ю.И. Исследование влияния шлака ОЭМК на свойства клинкера и цемента	122
Огурцова Ю.Н., Дроздов О.И. Влияние биоцидных добавок на водоотделение и сроки схватывания глиноземистого цементного теста.....	128
Погорелова И.А., Малюкова М.В., Корякина А.А. Применение сверхэффективных бетонов	133
Сивальнева М.Н., Кобзев В.А. Реология модельных систем пенобетона на основе бесцементного вяжущего	138
Столбоушкин А.Ю., Фомина О.А., Акст Д.В. Теоретические аспекты получения строительных керамических матричных композитов из малопластичного неспекающегося сырья.....	142

Сыса О.К., Локтионов В.А., Шакурова Н.В., Сыса Е.В. Санитарная керамика с применением модифицированного каолина	148
Таймасов Б., Жаникулов Н.Н. Малоэнергоемкие и ресурсосберегающие сырьевые смеси для получения клинкера.....	153
Тарасенко В.Н. Улучшение технических характеристик пен в производстве пенобетона	160

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫМ РАСТВОРОМ НА ЕЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ

Айзенштадт А.М., д-р хим. наук, профессор,
Данилов В.Е., ст. преподаватель,
Килушева Н.В., аспирант
*Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова*

Аннотация. В работе приводятся данные экспериментального определения дисперсионной и поляризационной составляющих поверхностного натяжения древесины сосны до и после обработки органоминеральным органоминеральным раствором на основе арабиногалактана и полиминерального песка. Установлено, что в результате обработки происходит минерализация поверхности материала.

Ключевые слова: поверхностная активность, арабиногалактан, кварц, органоминеральный комплекс, минерализация.

Реализация стратегии развития лесного комплекса стран, где сосредоточены значительные запасы деловой древесины, нацелена на развитие мощностей по глубокой переработке и комплексному использованию растительного сырья в индустрии строительных материалов, адаптированных к экстремальным природно-климатическим условиям. Решение данной задачи возможно путем модификации древесины при получении строительных материалов с необходимыми эксплуатационными характеристиками. Существующие в настоящее время добавки, проявляющие свойства антипиренов, не обеспечивают достаточную степень экологичности и невосприимчивости материала к внешним возмущающим воздействиям при длительной эксплуатации. Более эффективными модификаторами являются минеральные тонкодисперсные системы на основе горных пород различного генезиса (базальт, полиминеральный песок) [1, 2]. Использование данных гибридных реакционных систем (древесина - минеральный компонент) позволяет рассматривать механизмы трансформационных превращений капиллярно-пористой структуры древесной матрицы с позиций коллоидной химии. Исследование коллоидно-химических аспектов процесса ускоренной петрификации древесины позволит создать научные предпосылки технологии получения строительных материалов из древесины с разной степенью

минерализации (элементы огнестойких деревянных конструкций с гидрофобными защитными слоями) и синтезировать керамические материалы с упорядоченной структурой для создания малых архитектурных форм и ансамблей путем золь-гель темплирования растительной матрицы. Инструментарием предлагаемого подхода являются методы измерения поверхностного натяжения твердой фазы как основного информационного параметра процесса минерализации поверхности.

Свободная поверхностная энергия, или поверхностное натяжение – одна из основных характеристик любого вещества. Свободная поверхностная энергия твердых тел, как и жидкостей, равна работе изотермического образования единицы поверхности. Поверхность, разделяющая одну среду от другой, всегда резко отличается от вещества в массе, прежде всего, большим запасом энергии. Этот избыток энергии поверхностного слоя обусловлен различием межмолекулярных взаимодействий в обеих фазах и носит название поверхностной энергии. При переводе молекулы из объема на поверхность совершается работа против молекулярных сил сцепления. Величина работы изотермического образования единицы площади поверхности раздела находящихся в равновесии двух фаз носит название свободной поверхностной энергии – поверхностного натяжения. Иначе говоря, под поверхностным натяжением понимаем силу, направленную в сторону уменьшения поверхности раздела и действующую в направлении касательной к этой поверхности [3-4]. В качестве основных экспериментально определяемых информационных параметров использовались величины поляризационной и дисперсионной составляющих поверхностного натяжения опытных образцов древесины. Для определения критического поверхностного натяжения твердого тела в экспериментальной практике широкое распространение получили методы В.А. Зисмана, ОВРК, Эльтона и другие, основанные на измерении краевых углов смачивания твердого тела набором эталонных жидкостей. В целях оптимизации процесса темплирования может использоваться термодинамический параметр - поверхностное натяжение на границе раздела фаз “твердое тело-раствор”, определяемый методом Оунса-Вендта-Рабеля-Къельбле (ОВРК). Согласно этого метода [5] дисперсионная часть поверхностного натяжения состоит из внутренней энергии молекул, составляющих поверхностный слой материала, в основе которой лежит дисбаланс межмолекулярных сил.

Известно, что некоторые полисахариды способны образовывать комплексные соединения с нерастворимыми веществами и легко проникать сквозь клеточную мембрану растительной клетки. Таким химическим соединением является арабиногалактан (АГ), выделяемый из комлевой части древесины лиственницы [6]. Процесс водной экстракции вещества не требует применения органических растворителей, что делает арабиногалактан экологически чистым и безопасным продуктом. Кроме того, это соединение обладает поверхностно-активными свойствами [7, 8]. АГ образует стабильный комплекс с кварцсодержащей горной породой в тонкодисперсном состоянии в разбавленном буферном растворе. Органо-минеральный комплекс состава 10 частей АГ на 1 часть полиминерального кварцевого песка применим для ускоренного получения искусственно окаменелой древесины [9].

Для исследования нами были взяты образцы древесины сосны размерами 10*20*3 мм, высушенные до абсолютно сухого состояния, которые подвергались минерализации путем погружения в органо-минеральный раствор на 24 часа. После чего образцы снова высушивали при температуре 105 °С.

Состав органо-минерального раствора следующий: арабиногалактан (АГ), выделенный водной экстракцией из древесины лиственницы сибирской путем его осаждения в этиловом спирте с последующей перекристаллизацией и сушкой, и – полиминеральный кварцсодержащий карьерный песок с содержанием оксида кремния более 90% (КП), с соотношением компонентов АГ:КП=10:1.

Для реализации метода проведены эксперименты по определению краевого угла смачивания поверхности древесины сосны рабочими жидкостями на установке KRUSS Easy Drop. В качестве полярного вещества выбрана вода, а в качестве неполярных и слабополярных – декан, этанол и этиленгликоль, с известными значениями поверхностного натяжения. В ходе проведенных экспериментов получены следующие данные краевого угла смачивания рабочими жидкостями образцов древесины (табл.1):

Таблица 1- Краевой угол смачивания образцов

Образец	Рабочая жидкость			
	Вода	Этиленгликоль	Этанол	Декан
№1 – Контрольный, необработанный раствором	101	97	20	10
№2 – Обработанный раствором	83	86	16	15

Функциональные зависимости метода ОВРК представлены на рисунке 1.

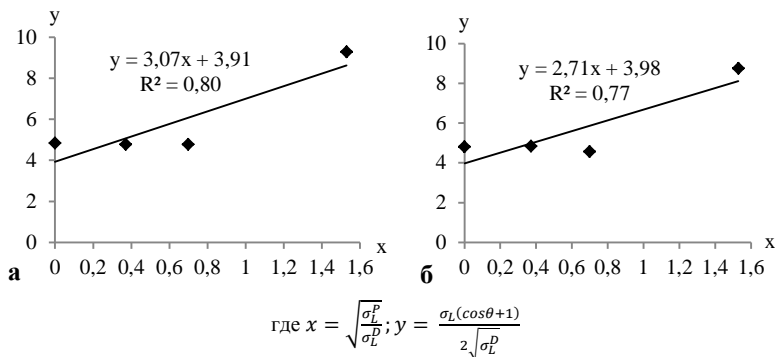


Рисунок 1 - Графики Оунса-Уэнда для образцов №1 (а) и №2 (б)

Полученные зависимости, имеющие удовлетворительный коэффициент достоверности аппроксимации (0,80 для образца №1 и 0,77 для образца №2), позволили рассчитать величины поверхностных натяжений контрольного и опытного образцов. Так дисперсионная составляющая поверхностного натяжения исследуемого материала равна для 1-го образца – 15,3 мН/м, для 2-го образца – 15,8 мН/м. Поляризационная составляющая поверхностного натяжения исследуемого материала равна для 1-го образца – 9,4 мН/м, для 2-го образца – 7,3 мН/м. Суммарное поверхностное натяжение для первого образца σ_S – 24,7 мН/м, для второго – 23,1 мН/м.

Полученные экспериментальные результаты показали, что процесс обработки опытных образцов древесины сосны не приводит к существенному изменению суммарной энергии поверхности. Вместе с тем наблюдается перераспределение составляющих этой величины, связанных с дисперсионной (ван-дер-ваальсовой силой) и поляризационной (химической структурой) частями. Так практически постоянное значение σ_S^D и уменьшение величины σ_S^P характеризует наличие активного химического взаимодействия компонентов древесины и комплекса «АГ-КП». Данный факт может свидетельствовать об эффективности применения органо-минерального комплекса при проведении процесса минерализации поверхности древесины.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Гранта РФФИ № 18-43-292002.

Список литературы:

1. Данилов В.Е., Строкова В.В., Айзенштадт А.М. Роль дисперсионных и поляризационных эффектов при формировании древесно-минерального композита на основе тонкодисперсных компонентов // Физика и химия обработки материалов, 2018, № 4, С. 50–56;
2. Стенин А.А., Айзенштадт А.М., Шинкарук А.А., Демидов М.Л., Фролова М.А. Минеральный модификатор поверхности строительных материалов из древесины // Строительные материалы, 2014, № 10, С. 51–54;
3. Мурзин В.С., Кантиева Е.В., Пономаренко Л.В. Энергетические характеристики поверхности древесины и древесных материалов // Лесотехнический журнал, вып. 2, 2012, С. 21–27;
4. Вешнякова Л.А., Дроздук Т.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Тутыгин А.С. Поверхностная активность кремнесодержащих горных пород // Материаловедение, вып. 5, 2016, С. 45–48;
5. Соколова Ю.В., Айзенштадт А.М. Оценка дисперсионного взаимодействия в алюмосиликатной системе под действием органической добавки // Физика и химия обработки материалов, 2017, № 4, С. 83–88;
6. Медведева С.А., Александрова Г.П., Дубровина В.И. и др. Арабиногалактан лиственницы – перспективная полимерная матрица для биогенных металлов // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения, 2002, № 7, С. 45–49;
7. Mucalo M.R., Bullen C.R., Manley-Harris M., McIntire T.M. Arabinogalactan from the Western larch tree: a new, purified and highly water-soluble polysaccharide-based protecting agent for maintaining precious metal nanoparticles in colloidal suspensions, *Journal of Materials Sciences*, V. 37, 2002, P. 493–504;
8. Медведева Е.Н., Бабкин В.А., Остроухова Л.А. Арабиногалактан лиственницы – свойства и перспективы использования (обзор) // Химия растительного сырья, 2003, №1, С.27–37.
9. N. Kiliusheva, A. Ayzenshtadt, V. Danilov, A. Stenin. Organic-mineral modifier for petrification of wood // 18-th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SCEM 2018: Nano, Bio and Green-Technologies for a Sustainable Future, 2 July – 8 July, 2018, Volume 18, pp. 385-392.

МЕХАНОАКТИВАЦИЯ ЛЕССОВИДНОГО СУГЛИНКА И ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО КИРПИЧА В УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА

Бабаев З.К. доцент,
Джуманиязов З.Б.,
Джаберганов Дж.С.

Ургенчский государственный университет

Аннотация. В статье приведены некоторые сырьевые проблемы производства высококачественного керамического кирпича в условиях Узбекистана. Анализом существующих литературных данных авторами предложены способ механоактивации лессовидного суглинка и разработаны составы керамического кирпича, показатели которого близки к клинкерным кирпичам. Проведены лабораторные и промышленные испытания по получению опытных образцов и определены некоторые эксплуатационные характеристики.

Ключевые слова: Керамический кирпич, лессовидная суглинка, вяжущие на основе глины, механохимическая активация, пластичность массы, модификация состава керамической массы, стекольная мука, поверхностно-активные вещества, сушка, обжиг, водопоглощение, морозостойкость.

Как известно, такие качественные показатели как прочность, долговечность, цветоустойчивость, высокие гигиенические и эстетические качества керамического кирпича, доступность глинистого сырья позволили ему стать одним из самых распространенных и востребованных изделий[1]. В экологически бедственных регионах, особенно с солончаковой почвой, применяемый строительный кирпич вследствие агрессивности окружающей среды быстро изнашивается, в результате здания и сооружения выходят из строя за короткие сроки. В связи с этим актуальным является разработка технологии получения керамического кирпича с высокими механическими показателями и химической стойкостью. Как известно, такие материалы производятся из качественного сырья или из модифицированных керамических композициях. В условиях Узбекистана, качественные сырьевые ресурсы для производства высококачественного керамического кирпича истощаются, в связи, с чем растет потребность к разработке технологии применение новых модифицирующих добавок или же технологии обогащения исходного сырья, служащей для повышения качества

выпускаемой продукции. Разработка и внедрение новых эффективных технологии стеновых материалов, обладающих высокими физико-механическими и теплофизическими характеристиками с применением местных сырьевых ресурсов в сочетании с техногенными отходами, является актуальной задачей.

Узбекистан располагает огромными запасами лессовидных суглинков. По минералогическому составу лессовидная суглинка состоит в основном из угловатых зерен кварца, полевых шпатов, глинистых минералов и кальцита, незначительных количествах слюды, гипса, хлорита, лимонита и органических веществ. Лессовидные суглинки неоднородны по величине частиц. Лессовидные суглинки являются древнеаллювиальными озерными и элювиально-делювиальными образованиями. Они широко распространены на территории Узбекистана и являются важнейшим сырьевым материалом для строительной керамики.

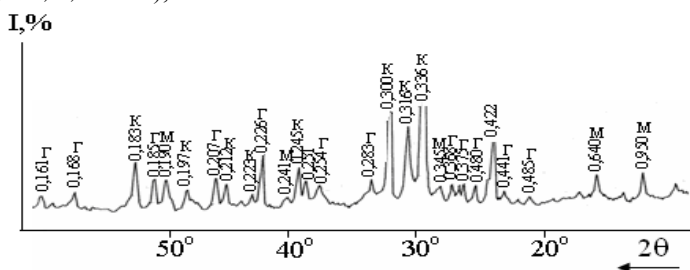
Как известно из литературных источников, пониженная пластичность суглинков (за счет преобладания в вещественном составе неглинистых примесей) обуславливает малую связность глиняных масс, особенно при пластическом способе формования, низкую трещиностойкость сырца при сушке и пониженную прочность изделий после обжига, что определяет необходимость пластификации таких масс[1-3]. С этой целью в работе предложено часть исходного сырья обработать шликерным способом с последующим фракционным разделением пластической части, а также с применением механоактивации улучшить ее вяжущие свойства.

В качестве исходного сырья выбраны лессовидная суглинка Курбановского месторождения Хорезмской области Республики Узбекистан. Проведенными физико-химическими исследованиями установлено что, данное сырьё относится к кислым и окрашенным, малопластичному классу. Гранулометрический состав следующий: 1,0-0,063 – 1,59%; 0,063-0,01 – 43,88%; 0,01- 0,005 – 16,23%; 0,005-0,001 – 18,96%; менее 0,01–19,34%. Химический состав исходного лессовидного суглинка приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Средний химический состав лессовидного суглинка Курбановского месторождения Хорезмской области Республики Узбекистан

Образцы	Оксиды, мас. %:								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
1	56,09	12,61	0,79	5,91	13,09	2,89	0,98	2,45	5,70
2	58,09	12,04	0,55	5,61	12,03	3,11	0,89	2,07	5,61
3	57,09	13,55	0,36	6,71	12,01	3,13	1,08	1,95	6,07
средний	57,08	12,57	0,46	5,73	12,21	3,05	0,99	2,02	5,79

В сообщении [4], нами подробно изложен способ выделения вяжущего из лессовидного суглинка. Результаты изучения химического состава вяжущего показали на наличии: 50,01% SiO₂, 4,22% Fe₂O₃, 0,39% TiO₂, 19,05% Al₂O₃, 11,38% CaO, 2,7% MgO, 1,06% K₂O, 0,65% Na₂O, 10,49% п.п.п. Как видно из результатов анализа содержание Al₂O₃ в массе составляет 19,05%, а содержание других оксидов снижается, по сравнению с исходным сырьем. Рентгенофазовые исследования исходного сырья приведенные на рис.1., показывают на наличие гидрослюда (d/n=0,161; 0,168; 0,185; 0,207; 0,226; 0,254; 0,283; 0,368; 0,375; 0,480; 0,441; 0,485нм), монтмориллонита (d/n=0,190; 0,241; 0,345; 0,640; 0,950нм), кварца (d/n=0,183; 0,197; 0,212; 0,223; 0,245; 0,251; 0,300; 0,316; 0,336; 0,422нм), кальцита (d/n=0,180; 0,190; 0,207; 0,226; 0,286; 0,973 нм),



г-гидрослюда, к-кварц, м-монтмориллонит.

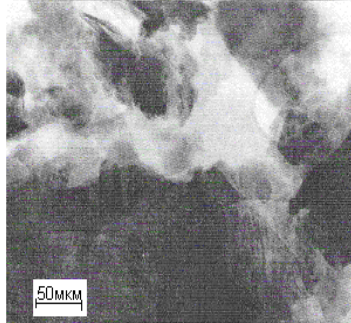
Рисунок 1 - Рентгенофазовый анализ механоактивированного вяжущего выделенного из лессовидного суглинка

Дифференциально-термический анализ вяжущего показывает, что при термообработке наблюдается ряд экзо- и эндотермических эффектов. В частности, при 80-100°C наблюдается эндотермический эффект связанный с выделением гигроскопической влаги. При 340°C наблюдается экзотермический эффект связанный с выгоранием органических примесей. Присутствующий на термограмме при 560°C эндотермический эффект соответствует выделению кристаллизационной воды. Эндотермические эффекты, связанные с декорбанизацией карбонатных включений наблюдаются при 850°C. В температурном интервале 870-890°C наблюдается экзотермический эффект связанный с кристаллизацией аморфных включений. Изученные технологические свойства пробы представленные в табл.2.

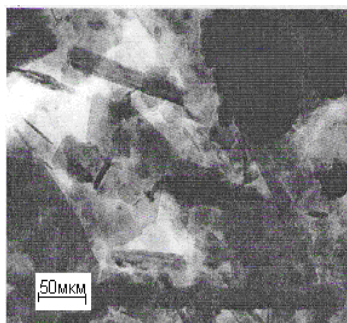
Таблица 2 - Технологические свойства вяжущего, выделенного из лессовидного суглинка

Число пластичности по Аттербергу	Воздушная усадка,%	Коэффициент чувствительности к сушке (по Чижскому), сек.	Механическая прочность на сжатие, МПа	Объемная масса, кг/м ³
18,95	4,50	180	3,07	1675

Анализ электронно-микроскопических снимков (рис.2) показывают на наличие в составе массы игольчатых с острыми углами и ромбического строениями кристаллических фаз.



а)



б)

а) исходная лессовидного суглинка; б) механоактивированного вяжущего на его основе

Рисунок 2 - Электронно-микроскопический снимок лессовидного суглинка (а) и механоактивированного вяжущего(б) на его основе

Подготовка лабораторных проб осуществлялась по общей принятой керамической технологии. Составы опытных масс приведены в табл.2. Для повышения пластичности массы и уменьшении трещин на поверхности образцов в процессе сушки и обжига были добавлены механоактивированные вяжущие в количестве 10-20%. Механоактивированные вяжущие выделенного из лессовидного суглинка использовались в качестве увлажняющего компонента при формовке кирпичной массы. Модифицирующими добавками в ходе эксперимента были использованы стекольная мука и поверхностно-активированные вещества(ПАВ). Вводимые ПАВ в состав керамической массы понижает поверхностное натяжение влаги и уменьшает усадку, которая продолжается, пока трение между частицами не превысит силы поверхностного натяжения влаги. Также повышается проникающая способность влаги, что способствует удалению поровой воды. Кроме того, ПАВ улучшает смачивание поверхности частиц шихты. Благодаря этому ПАВ и вода обволакивают частицы материала, уменьшая силы трения между его частицами. Это позволяет достичь высокой степени однородности при перемешивании и увлажнении, а также высокой степени уплотнения при прессовании изделий. Также для модификации керамической массы были добавлены стекольная мука из полубелого тарного стекла. На основе легкоплавкого лессового суглинка в лабораторных и заводских условиях были приготовлены ряд опытных образцов, составы которых приведены в табл. 3. Формование керамического кирпича осуществлялось пластическим способом в ленточном вакуум прессе, формовочная влажность массы 22-24%; сушка опытных заводских образцов осуществлялась при температуре 180⁰С в течение 48 часов. Обжиг изделий производился в 18 камерных кольцевых печах согласно принятому технологическому процессу.

Таблица 3 - Состав опытных масс

Компоненты	Составы масс*. %					
	Т	М1	М2	М3	М4	М5
Лессовидная суглинка	100	70	75	80	70	85
Стекольная мука из полубелого тарного стекла	-	10	10	10	15	5
ПАВ		3	3	3	3	3
Механоактивированная вяжущая на основе исходного сырья	-	20	15	10	15	10

*- Во всех опытных составах содержится коксовая мелочь 5 % от общей массы.

Для получения высококачественного изделия из низкосортного суглинка нами разработаны технологический режим обжига, т.к. для достижения полного спекания клинкера, не вызывая его деформации, необходим очень медленный подъем температуры обжига, выдерживание (40 часов) изделий при температуре близкой к спеканию и очень медленное охлаждение без притоков воздуха. Происходящие изменения в процессе обжига связаны с увеличением цикла обжига, снижением тяги по сечению печи и созданием в процессе обжига окислительно-восстановительной среды. В исходном состоянии пористое тело, полученное прессованием порошков и имеющее развитую внутреннюю межфазовую поверхность, представляет собой систему повышенных запасов свободной поверхностной энергии. Выделившееся тепло от горения порошкообразного модификатора способствует образованию жидкой фазы. Образовавшаяся жидкая фаза играет роль интенсификатора процесса спекания[3]. По всей видимости, образовавшаяся восстановительная среда способствует к восстановлению Fe^{2+} до Fe^+ . Как известно, в химическом отношении Fe^+ более активнее, чем Fe^{2+} , что предопределяет ускоренное формирование легкоплавких соединений с участием оксидов железа.

В результате проведенных работ получены клинкерные кирпичи, характеризующиеся следующими физико-техническими свойствами в следующих пределах:

- механическая прочность на сжатия; МПа - 25,5-50,0
- водопоглощение; % -3,2-6,8;
- износостойкость, $г/см^2$ -0,4-0,50;
- морозостойкость, цикл- 80-100.

В результате проведенных лабораторных и заводских экспериментов установлено, что с увеличением степени спекания керамического кирпича возрастает их плотность, механическая прочность, твердость, химическая стойкость и сопротивляемость к воздействию различных агрессивных средств, уменьшается газо и водопроницаемость.

Список литературы:

1. Золотарский А.Н. Производство керамического кирпича. – Киев: Высшая школа, 1987. - 568 с.
2. Пашенко А.А. Общая технология силикатов. – Киев: Высшая школа, 1983. - 408 с.

3. Абдрахимов Д.В. Керамический кирпич из отходов производств / Д.В.Абдрахимов, Е.С.Абдрахимова, В.З.Абдрахимов. // Строительные материалы. - 1999. - № 9. - С 34-35.
4. Юнусов М.Ю., Бабаев З.К., Саидназарова И.С., Хакимова Г. Н., Жуманиязов З. Улучшение формовочных свойств низкосортных лессовых суглинков Ярмышского месторождения // Композиционные материалы. – Ташкент, 2009. – №4.
5. Исмагов А.А., Шерназарова М.Т., Якубов Т.Н. Стеновая керамика с использованием палеоглин и лессовых пород. «Фан», Ташкент, -1993. С. 20-40.

ИННОВАЦИОННАЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЛИСТОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТЕКЛАХ

**Бессмертный В.С., д-р техн. наук, профессор,
Яловенко Т.А., студент,
Варфоломеева С.В., студент,
Назарова С.П., студент**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Разработана технология получения защитно-декоративных покрытий на листовых строительных стёклах. Исследован химический состав материалов. Установлено влияние температуры и времени воздействия отходящих плазмообразующих газов на прочность сцепления покрытия с подложкой. Разработанная технология является энерго- и ресурсосберегающей.

Ключевые слова: защитно-декоративные покрытия, листовые стёкла, плазмообразующие газы, тарные стёкла, стеклопорошок, плазменные технологии.

Листовые строительные стекла с защитно-декоративными покрытиями играют значительную роль в интерьере современных зданий и сооружений [1-3]. Без стекол с покрытиями в настоящее время не обходится практически любое архитектурное решение. Именно листовые стекла со светоотражающими, антибликовыми и декоративными свойствами являются обязательным элементом современных зданий [4].

Традиционные технологии получения стекол с покрытиями за счет длительности технологического процесса являются энергоёмкими и низкопроизводительными.

Плазменные технологии получения покрытий методом высокотемпературного распыления являются экологическими чистыми и энергосберегающими [5,6].

Современные составы глазурей и эмалей включают дорогостоящие сырьевые материалы, которые в конечном итоге удорожают стоимость листовых стекол.

Химический состав цветных тарных стекол исследовали на спектрометре APL 9900 Швейцарской фирмы “Thermo scientific”. (Таблица 1)

Таблица 1- Химический состав исследуемых материалов

Наименование	Содержание компонентов, мас. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Co ₃ O ₄	TiO ₂	SO ₃
Тарное синие стекло	67,5	5,2	4,7	2,2	0,9	17,2	2,0	0,06 2	0,03 1	0,11 5
Тарное коричневое стекло	71,7	1,9	8,0	4,0	0,3	13,2	0,7	-	-	0,2
Тарное зеленое стекло	70,5	3,3	10,0	2,0	0,2	13,0	0,	-	0,4	0,3

Для получения стеклопорошков бой цветных тарных стекол измельчали в щековой лабораторной дробилки. После дробления проводили помол боя цветных тарных стекол в шаровой мельнице в течение 6 часов. Полученный порошок рассевали на сите 0,071.

Перед плазменным нанесением стеклопорошки подсушивали в муфельной печи при 105°C и помещали для хранения в эксикатор.

Для плазменного напыления электродуговой плазмотрон «Горыныч» с температурой плазменного факела 6000°C.

Перед плазменным напылением из листовых стекол толщиной 5 мм вырезали образцы 250*250 мм. Края вырезанных образцов обрабатывали алмазным инструментом. После обработки кромок лицевую поверхность подогревали отходящими плазмообразующими газами. Температуру предварительной термообработки листовых стекол контролировали ХА – термомпарами.

На подогретые листовые стекла напылили стеклопорошки цветных тарных стекол. После напыления исследовали прочность сцепления напыленных покрытий с подложкой. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Влияние температуры и времени воздействия отходящих плазмообразующих газов на прочность сцепления покрытия с подложкой (400 мкм)

№ п/п	Температура подогрева стекла, °С	Время воздействия отходящих плазмообразующих газов на лицевую поверхность стекла, °С	Прочность сцепления покрытия с основой, МПа
1	100	30	3,2

Продолжение табл. 2

		40	3,6
		50	3,9
		80	4,1
		100	4,4
2	150	20	4,3
		30	4,5
		40	4,8
		50	5,1
		60	5,4
3	200	10	5,2
		15	5,4
		20	6,7
		25	6,2
		30	5,8

В процессе проведенных исследований установлено, что на прочность сцепления покрытия с основой влияет:

1. Температура предварительного подогрева стекла;
2. Время воздействия отходящих плазмообразующих газов.

Разработанная технология позволяет получить стекла с защитно-декоративными покрытиями, обладающими высокими эксплуатационными свойствами.

Список литературы:

1. Г.А. Айрапетова, Г.В. Несветиева. Строительные материалы. Учебно-справочное пособие. Ростов н/д: Изд-во «Феникс», 2004 г. С. 608.
2. Дорохова Е.С., Жерновой Ф.Е., Жерновая Н.Ф., Изотова И.А., Бессмертный В.С., Тарасова Е.Е. Безусадочный облицовочный материал на основе стеклобя и колеманита // Стекло и керамика. 2016. №3. С. 34-37.
3. Ryabova A.V., Yatsenko E.A., Klimova L.V., Goltzman B.M., Fanda A.Y. Protection of steel pipelines with glass-enamel coatings based on silica-containing raw materials of the Far East of Russia // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. Volume 9. Issue 10. P. 769-774.
4. Гуляян Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий: учебник для средних специальных учебных заведений, систем профессионально-технического и производственного обучения: Владимир: Изд-во Транзит-Икс, 2003. 480 с.
5. Бессмертный В.С., Крохин В.П., Панасенко В.А., Дрижд Н.А., Дюмина П.С., Колчина О.М. Плазменное стержневое декорирование сортовой посуды // Стекло и керамика. 2001. № 6.С. 21-22.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СМАЛЬТЫ НА ОСНОВЕ БОЯ ТАРНЫХ ЦВЕТНЫХ СТЕКОЛ

Бондаренко Н.И., канд. техн. наук, доцент,
Яловенко Т.И., студент,
Сопотов И.А., студент,
Даценко А.О., студент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Разработана энергосберегающая технология получения смальты на основе боя тарных цветных стёкол. Разработаны оптимальные составы шихт для изготовления смальты с использованием натриевого жидкого стекла. Проведена органолептическая оценка смальты. Разработанная технология позволяет снизить энергозатраты.

Ключевые слова: смальта, жидкое натриевое стекло, энергосберегающая технология, тарные стёкла, бой цветных стёкол.

В настоящее время декоративной отделке строительных материалов в жилищном строительстве уделяется значительное внимание [1-3].

Декоративная отделка зданий и сооружений повышает конкурентоспособность отделочных строительных материалов, а в конечном итоге – архитектурно-художественные достоинства зданий и сооружений [4-5].

Смальта используется для декоративного и художественного оформления интерьеров зданий, внутренней отделке, а также при оформлении монументальных сооружений. Однако высокие стоимостные показатели смальты не всегда позволяют в полной мере использовать данный отделочный материал для декоративной отделки различных строительных элементов. Это связано прежде всего с высокой стоимостью сырьевых материалов и значительными энергозатратами.

В работе представлены результаты исследований по разработке энергосберегающей технологии изготовления смальты на основе боя цветных тарных стекол. В качестве исходных материалов брали бой цветных тарных стекол.

Химический состав цветных тарных стекол исследовали рентгенофлуоресцентным методом с использованием спектрометра APL 9900

“Thermo scientific”, Швейцария. Химический состав тарных стекол представлен в таблице 1.

Помол боя цветных тарных стекол проводили в шаровой фарфоровой мельнице с уралитовыми шарами в течение 6 часов с последующим рассевом на сите 0,071. После помола с использованием лабораторного пресса прессовали таблетки размером 20*20*4 мм.

Таблица 1 - Химический состав исследуемых материалов

Наименование	Содержание компонентов, мас. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Co ₃ O ₄	TiO ₂	SO ₃
Тарное синие стекло	67,5	5,2	4,7	2,2	0,9	17,2	2,0	0,06 2	0,03 1	0,11 5
Тарное коричневое стекло	71,7	1,9	8,0	4,0	0,3	13,2	0,7	-	-	0,2
Тарное зеленое стекло	70,5	3,3	10,0	2,0	0,2	13,0	0,	-	0,4	0,3

В состав с целью снижения температуры обжига и общих энергозатрат вводили жидкое натриевое стекло по ГОСТ -13078-81. Разработанные составы представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Составы шихт для изготовления смальты

№ пп	Синие тарное стекло, мас.%	Коричневое тарное стекло, мас.%	Зеленое тарное стекло, мас %	Жидкое стекло, мас. %
1	100			
2		100		
3			100	
4	95			5
5		95		5
6			95	5
7	97			3
8		97		3
9			97	3
10	93			7
11		93		7
12			93	7
13	90			10
14		90		10
15			90	10

Пятнадцать составов отпрессованных образцов помещали в муфельную печь и при достижении температур 600, 650, 700, 750 и 850 °С извлекали образцы и подвергали органолептической оценке. Результаты исследования представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Органолептическая оценка качества смальты

Номер состава	Температура обжига, °С	Состояние и качество поверхности
1	750	неравномерная полуматовая поверхность
	800	блестящая поверхность с различным розливом
2	750	неудовлетворительное качество поверхности
	800	блестящая поверхность с ровным розливом
3	750	неудовлетворительное качество (матовая поверхность)
	800	блестящая поверхность с ровным розливом
4	700	неудовлетворительное качество (матовая поверхность)
	750	блестящая поверхность с ровным розливом
5	700	неудовлетворительное качество (матовая поверхность)
	750	блестящая поверхность с ровным розливом
6	700	неудовлетворительное качество (матовая поверхность)
	750	блестящая поверхность с ровным розливом
13	650	блестящая поверхность с ровным розливом
	600	неудовлетворительное качество (матовая поверхность)
14	650	блестящая поверхность с ровным розливом
	600	неудовлетворительное качество (матовая поверхность)
15	650	блестящая поверхность с ровным розливом
	600	Неудовлетворительное качество

Как видно из таблицы 3 с увеличением содержания натриевого жидкого стекла с 5% до 10% температура термообработки снижается на 100 °С. При этом сохраняется высокое качество лицевой поверхности смальты.

Разработанные составы и технология получения смальты позволяет существенно снизить ее себестоимость: во-первых, за счет замены ценных сырьевых материалов на отходы стекольного производства; во-

вторых, снизить температуру термообработки исходных шихт за счет использования жидкого стекла.

Список литературы:

1. Бондаренко, Н.И. Получение защитно-декоративных покрытий на изделиях из бетона методом плазменного оплавления / Н.И. Бондаренко, В.С. Бессмертный, В.И. Стадничук, С.Ю. Вдовина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 2. – С. 121–123.
2. Бондаренко, Н.И. Глазурование изделий из бетона с использованием факела низкотемпературной плазмы / Н.И. Бондаренко, В.С. Бессмертный, И.А. Ильина, Э.О. Гащенко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 2. – С. 121–127.
3. Бессмертный, В.С. Исследование влияния плазменной обработки стеновых строительных материалов на потребительские свойства защитно-декоративных покрытий / В.С. Бессмертный, Н.И. Минько, Н.И. Бондаренко, В.С. Лесовик, Яхья Мохаммед Яхья, Д.О. Бондаренко, Табит Салим Аль-Азаб // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 4. – С. 59–62.
4. Bondarenko, D.O. Plasma-chemical modification of concrete processed by colorific metal salts / D.O. Bondarenko, N.I. Bondarenko, V.S. Bessmertnyi, N.M. Burlakov // Advances in Engineering Research. – 2017. – Vol. 133. – P. 128–134.
5. Bondarenko, D.O. Plasma-chemical modification of concrete / D.O. Bondarenko, N.I. Bondarenko, V.S. Bessmertnyi, V.V. Strokova // Advances in Engineering Research. – 2018. – Vol. 157. – P. 105–110.

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ДОРОЖНЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОНЫ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Братчун В.И., д-р техн. наук, профессор,
Беспалов В.Л., канд. техн. наук, доцент,
Ромасюк Е.А., канд. техн. наук, доцент,
Доля А.Г., канд. техн. профессор,
Гуляк Д.В., канд. техн. наук, доцент
*Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры*

Аннотация. Разработаны составы комплексно-модифицированного этиленглицидилакрилатом горячего асфальтополимербетона, содержащего поверхностно-активированные 0,7 % мас. этиленглицидилакрилатом минеральные материалы (щебень, песок, минеральный порошок) и модифицированный нефтяной дорожный битум (2% мас. этиленглицидилакрилата совместно с 0,2 % мас. полифосфорной кислоты). Комплексно-модифицированный этиленглицидилакрилатом асфальтополимербетон характеризуется устойчивостью по Маршаллу, $R = 30$ кН; более высокой устойчивостью к формированию колеи, на 23 – 36% меньше, чем не модифицированные асфальтобетоны; водостойкостью после 90 суток водонасыщения – $K_{вд} = 0,91$; коэффициентом морозостойкости после 100 циклов $F = 0,88$, коэффициентом теплового старения после 2000 часов (температура прогрева 75°C и ультрафиолетовом облучении) $K_{ст} = 1,2$.

Ключевые слова: асфальтобетон, состав, структура, комплексная модификация, долговечность.

Постановка научной прикладной задачи. Асфальтобетон является сложным полидисперсным многофазовым композиционным материалом с коагуляционным типом контактов, который в зависимости от температуры, времени действия, интенсивности нагрузки и вида напряженного состояния в процессе эксплуатации проявляет свойства вязкопластических, изотропных и нелинейно-деформируемых материалов.

Характерной особенностью бетонов на органических вяжущих является существенная зависимость их свойств от качества применяемого органического вяжущего и интенсивности процессов взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал». Низкая долговечность асфальтобетона в покрытии дорожной одежды обусловлена неудовлетворительной

деформативностью (температура стеклования горячих асфальтобетонов $T_{ст} = -20 \dots -10^{\circ}\text{C}$) и сдвигоустойчивостью; низкими значениями водостойкости и морозостойкости (коэффициент длительной водостойкости $K_{вд} = 0,6 - 0,8$); склонностью к интенсивному старению [1 – 3].

В работах [4, 5] показано, что одним из наиболее эффективным способом комплексной модификации структуры дорожного асфальтобетона является поверхностная активация минеральных материалов (щебень, искусственный песок, минеральный порошок) и структурирование нефтяного дорожного битума этиленглицидилакрилатом совместно с полифосфорной кислотой ПФК-105.

В то же время комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны не исследованы как физико-химические системы. Отсутствуют исследования физико-химических процессов взаимодействия на поверхности раздела фаз «битумополимерное вяжущее – активированный минеральный порошок». Не изучены деформационно-прочностные характеристики и атмосферная стойкость асфальтополимербетонов с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой.

Целью исследования является экспериментальное изучение физико-химических процессов структурообразования в комплексно-модифицированных этиленглицидилакрилатом асфальтополимербетонных смесях и деформационно-прочностных характеристик асфальтополимербетонов.

Результаты экспериментальных исследований. Установлено, что оптимальная концентрация этиленглицидилакрилата на поверхности минеральных материалов щебня, песка и минерального порошка составляет 0,7 % по массе.

Олеофильный структурно-упрочненный слой этиленглицидилакрилата при массовой концентрации 0,7 % мас. на активированной поверхности минеральных материалов обеспечивает молекулярное сродство с активированной поверхностью минеральных материалов битумополимерным вяжущим. При этом на поверхности минеральных материалов образуются сетчатые структуры, что определяет монолитность и изотропность модифицированного асфальтобетона. Поверхностная активация зерен щебня, песка и частиц минерального порошка 0,7 % мас. этиленглицидилакрилата приводит к повышению предела прочности при сжатии асфальтополимербетона при 50°C в 1,35 раза и при 20°C в 1,8 раза по сравнению с асфальто-полимербетоном, у которого минеральные частицы поверхностно не активированы.

Центральной операцией при формировании структуры асфальтополимербетона является перемешивание отдозированных материалов, так как свойства комплексно-модифицированного асфальтополимербетона определяются энергией связей, возникающих между отдельными полидисперсными поверхностно-активированными частичками минеральных материалов, которые в свою очередь зависят от процессов взаимодействия активированных минеральных материалов и модифицированного нефтяного дорожного битума на их общей поверхности раздела фаз. Известно, что наиболее эффективно процессы смачивания и адсорбционного взаимодействия органических вяжущих и минеральных материалов происходят при температурах, которым соответствует вязкость органических вяжущих $\eta \leq 0,5$ Па·с. В качестве критерия оптимальной температуры объединения поверхностно-активированных этиленглицидилакрилатом (0,7 % мас.) минеральных материалов и нефтяного дорожного битума, модифицированного этиленглицидилакрилатом (2,0 % мас.) в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105 (0,2 % мас.), принят коэффициент однородности производства асфальтобетонной смеси, характеризуемый коэффициентом вариации содержания ключевого компонента смеси, в качестве которого принята фракция песка $d = 2,5 - 1,25$ мм, а также энергоёмкость процесса производства асфальтобетонных смесей.

При температурах производства 155°C и 165°C асфальтобетонных смесей, модифицированных этиленглицидилакрилатом, коэффициент вариации однородности производства асфальтополимербетонной смеси равен $K_{в(155)} \approx 5,5\%$, $K_{в(165)} \approx 4,4\%$. При температуре производства асфальтополимербетонной смеси 145°C коэффициент вариации содержания ключевого компонента в смеси составляет 12,3 %, что значительно выше нормативного значения $K_{в} \leq 7$ %.

Энергоёмкость производства модифицированных этиленглицидил-акрилатом асфальтобетонных смесей, определенная для замеса массой 1000 кг при начальной температуре $T_{н} = 20^{\circ}\text{C}$, при температуре 165°C больше на 8659 кДж, чем при температуре производства 155°C .

Подготовленная для укладки асфальтобетонная смесь с комплексно-модифицированной структурой должна иметь температуру $140 - 155^{\circ}\text{C}$. Уплотнение асфальтобетонных смесей с комплексно-модифицированной этиленглицидилакрилатом микро-, мезо- и макроструктурой необходимо вести в интервале температур $70 - 150^{\circ}\text{C}$.

Процесс уплотнения модифицированных этиленглицидил-акрилатом асфальтобетонных смесей менее энергоёмкий, чем

традиционных горячих асфальтобетонных смесей (ДСТУ Б В.2.7-119:2011).

Так, средний расход энергии на приращение единицы плотности модифицированных асфальтобетонных смесей при 110°C и 120°C составляет 0,79 и 0,81 $\frac{\text{кДж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$ соответственно, а для традиционных асфальтобетонных смесей 1,27 $\frac{\text{кДж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$.

Рассмотрение влияния комплексной модификации микро-, мезо- и макроструктуры горячего асфальтобетона этиленглицидилакрилатом на стандартные физико-механические свойства и сравнение их с традиционными показывает, что комплексно-модифицированные этиленглицидилакрилатом асфальтобетоны характеризуются более высокой средней плотностью, $\rho_0^i = 2435 \text{ кг/м}^3$ против $\rho_0^i = 2338 \text{ кг/м}^3$ и длительной водостойкостью, $\hat{E}_{aa}^i \approx 1 > \hat{E}_{aa}^{ii} = 0,83$, меньшей температурной чувствительностью и более высокими значениями предела прочности при сжатии в области высоких положительных температур.

Асфальтобетонные смеси, комплексно-модифицированные этиленглицидилакрилатом, в значительно меньшей мере, на порядок ниже, подвержены технологическому старению, чем традиционные горячие асфальтобетонные смеси.

Асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной структурой характеризуются более высокими значениями предела прочности на растяжение при изгибе, например, при температуре 20°C, $R_{изг} = 1,9 - 2,3 \text{ МПа}$.

В интервале температур от +20°C до -10°C усталостная долговечность асфальтобетонов с комплексно-модифицированной структурой значительно выше, по сравнению со стандартными асфальтобетонами (рисунок).

Повышение усталостной долговечности в 1,5 – 2 раза наблюдается у асфальтобетона в котором битум модифицирован 2,0 % мас. этиленглицидилакрилатом марки Элвалой АМ в комбинации с 0,2 % мас. полифосфорной кислоты ПФК-105, а минеральные материалы поверхностно активированы 0,7 % мас. этиленглицидилакрилата марки Элвалой АМ и в 1,1 – 1,5 раза у комплексно-модифицированного литого асфальтобетона, в котором битум модифицирован 2,0 % мас. бутадиевметилстирольным каучуком СКМС-30 совместно с 30 % мас. технической серы, а минеральный порошок поверхностно-активирован 0,5 % мас. СКМС-30.

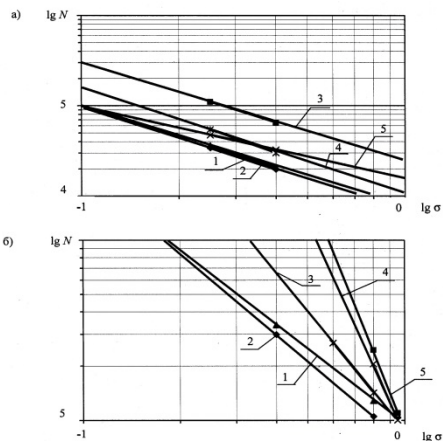


Рисунок – Усталостная долговечность асфальтобетонов: а) 20°C; б) минус 10°C. 1 – асфальтобетон на битуме $P_{25} = 75 \cdot 0,1$ мм (тип «А»); 2 – асфальтобетон на битуме $P_{25} = 75 \cdot 0,1$ мм (тип «Б»); 3 – асфальтобетон на битуме $P_{25} = 75 \cdot 0,1$ мм (тип «Б») с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой этиленглицидилакрилатом Элвалой АМ; 4 – литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной микроструктурой СКМС-30. 5 – ЩМА-10 с добавкой Antrocel-G

Щебеночно-мастичный асфальтобетон, минеральные материалы которого поверхностно-активированы 0,7 % мас. этиленглицидилакрилатом, а нефтяной дорожный битум $P_{25} = 75 \cdot 0,1$ мм модифицирован 2,0 % мас. этиленглицидилакрилатом совместно с полифосфорной кислотой ПФК-105 0,2 % мас., содержащей 0,2 % мас. стабилизирующей целлюлозной добавки «Antrocel-6», характеризуется в 1,6 раза более высокой усталостной долговечностью, чем не модифицированный ЩМА-10.

Выводы.

На основе методологии системного анализа предложенных физико-химических моделей модифицированных асфальто вяжущих веществ и асфальтобетонов с использованием экспериментально-статистического описания разработаны и реализованы новые научно-обоснованные технологические решения получения комплексно-модифицированных горячих, литых и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей для устройства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности, способных противостоять колебаниям, усталостному разрушению, трещиностойкости и

термоокислению, в результате комплексной модификации органических вяжущих полимерами термодинамически совместимыми с нефтяными дорожными битумами : Элвалой АМ с катализатором структурирования надмолекулярных образований высокомолекулярных веществ – поли- фосфорной кислотой ПФК-105 и формированием в битуме пространственной полимерной сетки с расчетным количеством узлов и кинетически гибких цепей из макромолекул и надмолекулярных образований с одновременной поверхностной активацией олигомерами или полимерами минеральных материалов асфальтобетонных смесей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие Донецкой Народной Республики и Российской Федерации.

Список литературы:

1. Дорожный асфальтобетон [Текст] / [Л. Б. Гезенцев, Н. В. Горельшев, А. М. Богуславский, И. В. Королёв]. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.
2. Золотарев В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов [Текст] / В. А. Золотарев – Харьков : Вища школа, 1977. – 116 с.
3. Калгин Ю. И. Дорожные битумо-минеральные материалы на основе модифицированных битумов : монография [Текст] / Ю. И. Калгин. – Воронеж : из-во Воронежский гос. архитектурно-строит. ун-т, 2006. – 272 с.
4. Оптимизация состава асфальтовяжущего вещества «Битум-Элвалой АМ – шлам нейтрализации травильных растворов (ШН)», активированный полимерсодержащим отходом производства эпоксидных смол (ПОЭС) [Текст] / [В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер и др.] // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури «Сучасні будівельні конструкції і матеріали», 2006. – 5(61). – С. 133 – 138.
5. Влияние добавок термопласта Элвалой на свойства битума и асфальтобетона [Текст] / [В. А. Золотарев, С. В. Ефремов, Я. И. Пыриг, С. А. Чугуенко] // Наука и техника в дорожной отрасли, 2004. – №1. – С. 41 – 44.

ОСНОВНЫЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ ГЕОКОМПОЗИТОВ

Булгаков М., студент

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет*

Аннотация. Современные геосинтетические материалы по способу производства и применению различных добавок и пропиток значительно расширяют традиционные области их использования в строительных конструкциях. Для определения возможности применения геосинтетических материалов в первую очередь следует использовать данные результатов испытаний, подтвержденные в специализированной лаборатории, а также задействовать объем уже накопленных практических данных. При должном учете всех переменных, оказывающих влияние на сохранение эксплуатационных качеств, геоматериалы способны обеспечить длительный срок эксплуатации с низкими сопутствующими издержками, а также низкую трудоемкость монтажа и простоту конструкции. С этой целью в статье освещен отдельный тип геосинтетического материала – геокомпозит. Также в статье определены показатели, учет которых необходим для подбора оптимального вида материала под конкретную технологическую задачу.

Ключевые слова: геокомпозит, геосинтетические материалы, геоматериалы, биомат, глиномат, композитная геомембрана, геосоты, геополоса.

К основным функциям геосинтетических материалов в дорожной конструкции относят: разделение, фильтрование, дренирование, защиту от эрозии, армирование, гидроизоляцию, а также их комбинации. Сочетания функции могут выполняться одним видом геосинтетического материала, в частности геокомпозитами [1]. Получаемые в процессе комбинирования геосинтетических материалов геокомпозиты зачастую вбирают в себя несколько технологических функций, при этом обеспечивают простой процесс монтажа, длительный срок работы и высокие эксплуатационные характеристики.

Геокомпозит представляет собой многослойный материал из скрепленных в плоскости различных слоев (не менее двух), отличающихся по своей структуре и назначению друг от друга.

Преимущество геокомпозитов перед их субститутами, в первую очередь, заключается в возможности выполнения сразу нескольких

функций. В зависимости от основной выполняемой функции различают 2 класса: армирующие геокомпозиты (армогеокомпозиты) и дренирующие геокомпозиты (геодрены) [2].

К видам геокомпозитов по классификации, представленной в [3], относятся: биоматы, глиноматы, геомембрана композиционная, геомембрана битумная, геополоса композиционная, геоплита композиционная, геосотовый материал композиционный скреплённый, которые формируют два классификационные группы – дискретно-упрочненные композиты и непрерывно упрочненные геокомпозиты.

Рассмотрим некоторые геокомпозиты, чтобы выделить основные конструктивные отличия и эксплуатационные преимущества.

Биомат (БМТ), основной функцией которого является защита от водной и ветряной эрозии (Э), в частности в дорожном строительстве используется как материал для местного укрепления откосов и противоэрозийной защиты [6].

В основу биоматов входят полностью или частично разлагаемые волокна, биоразлагаемые материалы, а также семена (в диапазоне 60-130 гр/м²) и удобрения.

Параллельно конструктивным преимуществам - биомат позволяет осуществлять любые идеи ландшафтного дизайна, а благодаря универсальности и простоте монтажа не требует дополнительных технических средств для производства работ и способен в короткие сроки восстановить зеленый покров на требуемом участке.

Производится биомат путем сопряжения двуслойной тканой основы или натуральной сетки из соломы, джутового, льняного, бамбукового волокна с промежуточным слоем семян многолетних трав с удобрениями. Также в биомат могут вводиться различные добавки: влагоудерживающие элементы, почвообразующие бактерии и др. При необходимости биомат сшивают по иглопробивной технологии или скрепляют склеиванием.

Композиционная гибкость данного материала также состоит в том, что в зависимости от климатической зоны применения и почвенно-грунтовых условий возможны различные комбинации основных слоев биомата, растительных семян и, при необходимости, армирующих элементов.

Для биоматов важнейшими переменными величинами являются: сырьевой состав, вид образующих волокон или нитей, способ скрепления, поверхностная плотность, толщина материала, характеристика посевного материала.

Глиномат (ГМТ) - трехслойный полуфабрикат, включающий в себя два конструктивных слоя из тканого или нетканого геотекстиля из полипропиленовых (ПП) или полиэтиленовых (ПЭ) волокон, улучшенного средним слоем из гранул монтмориллонитовых глин с высокими коллоидными и сорбционными свойствами. Конструкция по нормали к поверхности скрепляется иглопробиванием, что обеспечивает постоянную структуру глиномата. Специальный размер пор нетканого геотекстиля не позволяет глине в процессе гидратации растекаться.

Глиноматы используют для защиты конструкций, возводимых в грунте. Основной функцией глиномата в дорожном строительстве является гидроизоляция (Г) основания насыпи и выемки земляного полотна. При достижении плотного примыкания глиномата к защищаемой поверхности, разбухшие от контакта с водой, бентонитовые глины в ячейках геомата формируют противofильтрационный замок для жидкостей, паров и газов, обеспечивая коэффициент фильтрации $\sim 1.4 \times 10^{-7}$ м/сут. Глиноматы относятся к 1 классу прочности на разрыв.

Преимущества перед гидроизоляцией традиционными методами: экономия достаточно дорогостоящей глины при формировании фильтрационного замка, большой жизненный цикл со множеством гидратаций-дегидратаций, легкий монтаж, отсутствует необходимость в уплотнении.

В основном свойства глиноматов определяются характеристиками бентонитовой глины, сырьевой состав армирующих волокон или нетканого материала, поверхностная плотность, толщина.

Создание противofильтрационного барьера из композитных полиэтиленовых геомембран (ГММ-КП) для защиты от воды и других агрессивных сред, состоящего из полиэтилена высокого давления или полиэтилена низкого давления, является эффективной мерой из-за высокой химической стойкости сырья [5]. Основная функция геомембран в дорожной конструкции - обеспечение гидроизоляции основания насыпи и выемки.

Данный геосинтетический материал пришел на смену глиняного замка, для которого требовалось до пятидесятисантиметрового слоя жирных глин.

Композиция из геомембран с геотекстилем применяемая для защиты "экрана" от острых краев фракционного щебня, обломочного и мерзлого грунта, придает данному материалу дополнительную эксплуатационную ценность. Защитные слои могут быть выполняться

различной толщины, что придает геокомпозиту дополнительную гибкость в применении. Материал для непрерывного упрочнения геомембран обычно применяют из полипропилена (ПП) и полиэтилена (ПЭ). Класс прочности при растяжении - 1.

К преимуществам также относят высокий срок службы и обеспечение монолитности слоев путем термической сварки. Невысокая потребность в техническом углероде (2%) способна обеспечить неразрушение материала при воздействии ультрафиолетового излучения.

Геомембраны с рифлеными сторонами применяют для увеличения их фрикционных характеристики, что позволяет использовать их даже на крутых откосах.

Технические показатели для композитных мембран устанавливают следующие характеристики: сырьевой состав, объемная плотность полимера, поверхностная плотность, толщина материала, вид армирующего материала, сырьевой состав армирующего материала (а также тип связующего битума для ГММ-БТ).

Наряду с пластмассовыми, вязаными, неткаными геополосами существует композиционная геополоса, технологические свойства которой улучшены посредством внедрения для упрочнения по всей длине геотекстиля.

Геополосы из геокомпозитных материалов используются для дискретного армирования или как полуфабрикат для геосот.

Геосотовый материал скрепленный (ГСВ-ПС) по определению геосинтетическая пространственная конструкция, имеющая сквозные ячейки и скрепленные в перпендикулярной плоскости относительно материала. Высота ребер геосот соизмерима размерам ячейки. В свою очередь размер ячейки подбирается исходя из фракции щебня.

Геосотовый скрепленный материал имеет широкий спектр применения. От армирования слоев основания, дополнительных слоев и рабочего слоя дорожной одежды; армирования с разделением обочин; армирования тела и основания насыпей и выемок, до укрепления откосов.

Класс прочности при растяжении для геосот широко варьируется (от 2 до 5 класса) как и вид сырья.

Свойства геосот определяют: сырьевой состав, объемная плотность полимера, способ скрепления, поверхностная плотность, эффективный размер ячеек, высота ячеек.

Как видно из практики, возможности геосинтетических материалов по оптимизации строительных конструкций, их облегчению

и упрощении - достаточно велики. При этом на проектировщиков, строителей и эксплуатирующие организации накладываются дополнительные сложности с подбором вида геосинтетика и технологические операции с достаточно "требовательными" материалами.

Список литературы:

1. ОДМ 218.2.046-2014 Рекомендации по выбору и контролю качества геосинтетических материалов, применяемых в дорожном строительстве
2. ГОСТ Р 53225-2008 Материалы геотекстильные. Термины и определения (с Поправкой)
3. ГОСТ Р 55028-2012 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Классификация, термины и определения
4. Львович Ю.М. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве: Обзорная информация, 2002. 44с.
5. Свиридова Т.В. Применение геомембран для изоляции хранилищ промышленных отходов. Теория и технология металлургического производства. 2014. № 1 (14). 74-76с.
6. Гогунев Р.И., Маглан А.В. Применение биоматов для снижения процессов водной эрозии на откосах земляного полотна. Материалы Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО "СибАДИ"). 2015. 52-59с.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ПЕРЛИТА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОРУНДОВЫХ ЛЕГКОВЕСНЫХ ОГНЕУПОРОВ НА ОСНОВЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ

**Дороганов В.А., канд. техн. наук, доцент,
Вареникова Т.А., вед. инженер,
Яшкин А.Н., магистрант**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследования составов для получения корундовых легковесных теплоизоляционных огнеупоров на основе электроплавленного корунда с использованием гидравлического вяжущего материала цемента марки М-72 и добавки вспученного перлита. Определены закономерности влияния содержания компонентов шихты на основные физико-механические характеристики образцов, плотность и механическую прочность, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 5040-2015 для марок корундового легковеса КТ-1,1 и КТ-1,3.

Ключевые слова: корундовый легковес, огнеупоры, теплоизоляционные материалы, электроплавленный корунд, технический глинозем, высокоглиноземистый цемент, вспученный перлит, плотность, механическая прочность.

Общая технологическая направленность при производстве новых теплоизоляционных материалов сводится к интенсификации процессов, снижению энергозатрат и материалоемкости, что является одним из важнейших критериев оценки научно-технического уровня производства огнеупоров. В связи с этим, особо актуальным становится вопрос совершенствования производства огнеупорной теплоизоляции различного назначения. Легковесные корундовые изделия широко применяются во многих областях промышленности, в том числе металлургии (металлургических сталелитейных печей не подвергающихся действию расплава, истирающих усилие и механических ударов) и огнеупорной промышленности в качестве теплоизоляционных материалов в соответствии и ГОСТ 5040-2015 «Изделия огнеупорные и высокоогнеупорные легковесные теплоизоляционные». [1,5]

Целью исследования является разработка и исследования составов масс для корундовых легковесных огнеупоров с меньшей энергоемкостью производства. Для этого предлагается испытать

высокоглиноземистые формовочные системы, в качестве вяжущего в которых будет использоваться глиноземистый цемент с содержанием Al_2O_3 не менее 70 %, что позволит значительно снизить влажность при формовании и использовать метод виброформования.

Для работы применяли следующие сырьевые материалы: электроплавленный корунд (фракция менее 500 мкм), предварительно прокаленный при 1200°C, технический глинозем (фракция менее 40 мкм) и высокоглиноземистый цемент марки М-72 фирмы Secar, химический состав которых представлен в табл. 1.

Таблица 1 - Химический состав сырьевых материалов

Наименование материала	Содержание оксидов, %							
	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	MgO	CaO	TiO_2
Электроплавленный корунд	99,9	0,02	0,01	0,03	0,03	0,01	-	0,01
Технический глинозем	99,5	0,06	0,02	0,06	0,04	0,01	-	0,02
В/гл цемент	72,7	0,24	-	0,43	0,63	0,34	26,1	-

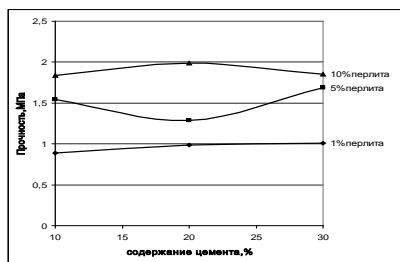
При составлении шихтовой смеси для вводили вспученный перлит в соотношении 1, 5, 10 % и высокоглиноземистый цемент в количестве 10, 20, 30 %. Особенное внимание уделялось отдельному перемешиванию перлита и цемента для лучшего обволакивания микросфер перлита тонкой цементной пленкой с постепенным увлажнением.

Шихтовые составы образцов корундового легковеса с добавкой высокоглиноземистого цемента и перлита показаны в табл. 2. [5] Также были рассчитаны изменение влажности масс составов и содержание Al_2O_3 в шихтах с учетом процентного содержания вводимых компонентов, показаны в табл. 2

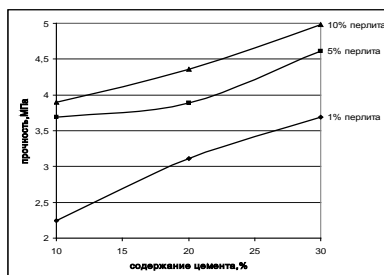
График зависимости механической прочности образцов корундового легковеса после сушки при температуре 100°C от содержания высокоглиноземистого цемента, составов с добавками 1, 5, 10 % перлита при T 100-1300°C показан на рис. 1.

Таблица 2 - Шихтовые составы образцов корундового легковеса с добавкой цемента и перлита

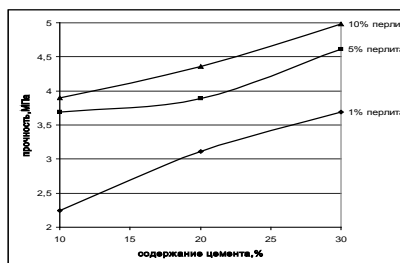
№ состава	Содержание перлита, %	Содерж. глинозема, %	Содерж. цемента, %	Влаж. массы, %	Содерж. Al ₂ O ₃ , %
1	1	89	10	14,1	95,3
2	5	85	10	15,2	91,9
3	10	80	10	16,1	87,7
4	1	79	20	14,9	92,4
5	5	75	20	16,2	89,0
6	10	70	20	16,9	84,8
7	1	69	30	17,4	89,5
8	5	65	30	18,5	86,1
9	10	60	30	18,9	81,9



а



б



в

а - график зависимости механической прочности от содержания цемента при введении перлита 1, 5, 10 % после сушки при 100°C,
 б- график зависимости механической прочности от содержания цемента при введении перлита 1, 5, 10 % после обжига при 300°C
 в- график зависимости механической прочности от содержания цемента при введении перлита 1, 5, 10 % после обжига при 1300°C

Рисунок 1 - Физико-механические свойства образцов после обжига

Из полученных экспериментальным путем данных сделаем вывод, что образцы с добавкой вспученного перлита, корунда и высокоглиноземистого цемента после термообработки при 300°C

пригодны для производства методом виброформования по безобжиговой технологии и отвечают требованиям ГОСТ для марки КЛ-1,1. Оптимальные составы могут содержать 10-20% высокоглиноземистого цемента, 75-90% глинозема и до 15% электроплавленного корунда. Переход от классического способа формования методом литья к виброформованию позволил снизить формовочную влажность и температуру обжига изделий, что существенным образом сокращает производственные затраты на весь производственный цикл и выпуск единицы продукции огнеупорного производства. Таким образом, разработанные в данной работе материалы могут быть рекомендованы к промышленному выпуску на предприятиях по производству корундового легковеса.

Список литературы:

1. Ковылов В.М., Томилин Ю.И. Огнеупорные волокнистые материалы // Огнеупоры и техническая керамика. 2000. №10. с. 37-41.
2. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. технология теплоизоляционных материалов. М. Стройиздат. 1980. 396 с.
3. Крючков Ю.М. Разработка и применение пористых теплоизоляционных материалов // Огнеупоры и техническая керамика. 2000. №3. с 2-3.
4. Шубин В.Н. Производство корундового легковеса. Огнеупоры. 1971. №3. С. 30-32.
5. Вареникова Т.А., Смирнова М.А., Дороганов В.А. Корундовые легковесные огнеупоры на основе гидравлических вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.2017. №5. С. 64-69.
6. Кашеев И.Д., Стрелов К.К., Мамыкин П.С. Химическая технология огнеупоров. Инжтермет Инжиниринг, 2007. 752с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВОГО ШПАТА И ПЕСКА

**Дороганов В.А., канд. техн. наук, доцент,
Неверова Е.В., магистрант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность применения искусственных керамических вяжущих, полученных на основе полевого шпата и песка в технологии производства керамических материалов и изделий. Анализируются результаты комплексных испытаний и исследований полученных образцов. Доказана эффективность применения искусственных керамических вяжущих в различных отраслях керамического производства. Обусловлен экономический эффект от внедрения суспензий в стандартные технологические линии.

Ключевые слова: суспензии; искусственные керамические вяжущие; высококонцентрированные вяжущие суспензии; полевой шпат; кварцевый песок.

На сегодняшний день производство керамических материалов и изделий является достаточно обширной и динамично развивающейся промышленной отраслью. Одним из наиболее актуальных и перспективных направлений данной отрасли является исследование, оптимизация и расширение номенклатуры выпускаемых изделий по технологии высококонцентрированных вяжущих суспензий (ВКВС) [1].

В настоящий момент данная технология не нашла широкого применения и в подавляющей части применяется при производстве огнеупорных материалов и некоторых видов технической керамики. Во многом данная ситуация обусловлена отсутствием достаточного количества проведенных исследований, и накопленных знаний, препятствующих развитию и интенсивному внедрению данной технологии в различные сферы керамических производств [2]. В связи, с чем в данной работе рассмотрены исследования искусственных керамических вяжущих и их систем (ИКВ).

В качестве исходных сырьевых материалов в данной работе применялись полевой шпат Малышевского месторождения и песок Ташлинского месторождения. Для получения суспензий методом искусственных керамических вяжущих производился мокрый помол

компонентов в фарфоровой шаровой мельнице в течение 8-ми часов для полевого шпата и 12-ти часов для кварцевого песка. Помол осуществлялся с догрузкой материала в условиях увеличения концентрации твердой фазы. В качестве мелющих тел применялись уралитовые шары. В качестве дефлокулянта применялся электролит на органической основе, в количестве 1% от массы материала. Готовые суспензии подвергались стабилизации, путем гравитационного перемешивания в течение 6-8 часов [3,4]. Готовые суспензии ИКВ имели следующие свойства и характеристики, представленные в табл.1.

Таблица 1- Характеристики исследуемых суспензий ИКВ

Состав № п/п	Содержание, %		Плотность $\rho, \text{г/см}^3$	Время истечения $t, \text{сек}$	Влажность $W, \%$:
	ПШ	КП				
1	-	100	2,094	47	16,24	1,18
2	20	80	2,06	34	16	1,17
3	40	60	2,065	76	16,5	1,56
4	60	40	2,08	48	16,3	1,54
5	80	20	2,061	46	16,6	1,46
6	100	-	2,014	143	19,23	1,48

Прим. ПШ-суспензия на основе полевого шпата; КП-суспензия на основе кварцевого песка.

На основе полученных ИКВ путём отливки суспензий в гипсовые формы были получены образцы-балочки. После замера размеров и веса образцов, как после выимки из форм, так и после сушки, образцы подвергались процессу обжига, осуществляемому в электрической печи при температурах: 1000-1250°C с интервалом в 50°C. После обжига образцы подлежали испытаниям, в ходе которых были определены такие свойства и характеристики как: огневая усадка, водопоглощение, кажущаяся плотность, предел прочности на изгиб. Результаты испытаний представлены на рис. 1-4.

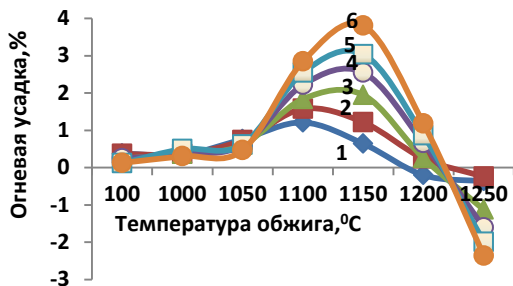


Рисунок 1 - Зависимость огневой усадки образцов от температуры обжига.
(Состав образцов см. в табл.1.)

Анализ данных огневой усадки исследуемых образцов (рис.1), показал, что с увеличением температуры обжига происходит рост образцов на основе песка, обусловленный полиморфными превращениями кварца и остекловывание при температуре 1150°C образцов с содержанием ИКВ ПШ в количестве 60-100%, однако стоит отметить, что потеря формы данных образцов наблюдается при температуре в 1250°C. Составы с содержанием ИКВ ПШ в количестве 40% остекловываются при температуре в 1200°C, поэтому температуру обжига в 1200°C для образцов на основе исследуемых систем, за исключением системы состава 80% КП и 20% ПШ можно считать предельно допустимой.

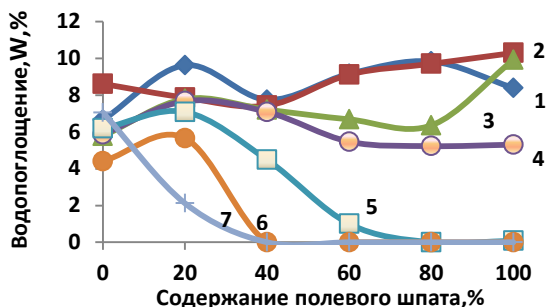


Рисунок 2 - Зависимость показателя водопоглощения исследуемых образцов от процентного содержания полевого шпата в составе суспензий.
(Состав образцов см. в табл. 1.)

С ростом температуры обжига образцов (рис. 2) прослеживается очевидная тенденция к уменьшению показателя водопоглощения, за исключением образцов на основе ИКВ КП, что, как и в случае усадки обусловлено полиморфизмом кварца. Наименьшим значением водопоглощения обладают образцы, содержащие в своём составе от 40 до 100% ИКВ ПШ, для данных образцов наблюдается нулевое значение водопоглощения при температурах от 1150°C (состав 80% ИКВ ПШ и 20% ИКВ КП) до максимальной температуры обжига в 1250°C.

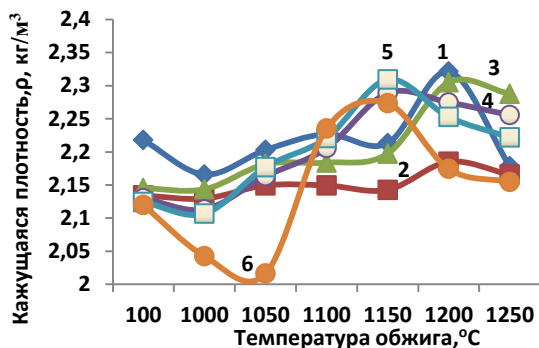


Рисунок 3 - Зависимость плотности от температуры обжига образцов (Состав образцов см. в табл.1.)

Исходя из данных представленных на рис. 3. следует, что плотность всех анализируемых образцов увеличивается с ростом температуры обжига, однако рост данного показателя происходит до температуры обжига в 1150°C для образцов с повышенным содержанием ИКВ ПШ (40-100%) после чего наблюдается снижение данного показателя. Снижение плотности в данном случае обуславливается образованием стекловидной фазы.

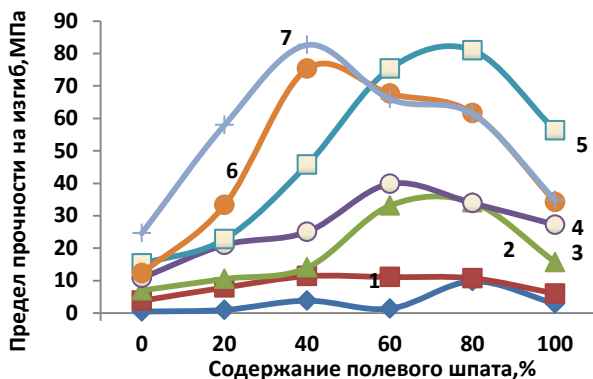


Рисунок 4 - Зависимость предела прочности образцов на изгиб от содержания полевого шпата в составе ВКВС (Состав образцов см.табл.1.)

Согласно данным предела прочности образцов на изгиб (рис.4) следует, что прочность также увеличивается с ростом температуры до определенного для каждого из составов пределов, затем происходит спад, а после снова увеличение прочностных характеристик, но для всех изделий наиболее оптимальна температура обжига в 1150-1200°C

Таким образом, следует, что наилучшими свойствами обладает состав, состоящий из 60% ИКВ КП и 40% ИКВ ПШ, имеющий при температуре обжига в 1200°C нулевое значение водопоглощение, значительные прочностные характеристики – 75,32 МПа и плотность, а также низкую усадку - 0,25%. Полученный материал с успехом может быть применен в технологии производства санитарно-технических изделий, т.к. не только соответствует необходимым параметрам, но и в значительной мере имеет более высокие показатели качества даже не в глазурированном виде. Кроме того производство сантехнических материалов на основе данного состава системы экономически целесообразно, ввиду экономии сырьевых материалов и снижении температуры обжига изделий.

Список литературы:

1. [Электронный ресурс] Строительные композиты на основе высококонцентрированных вяжущих систем. URL: <http://www.dslib.net> (дата обращения 24.12.18);
2. [Электронный ресурс] Строительные композиты на основе искусственных вяжущих материалов. URL: <http://www.findpatent.ru> (дата обращения 24.12.2018);
3. Пивинский Ю. Е.. Реология дилатантных и тиксотропных дисперсных систем. СПб.:Изд-во СПбГТИ (ТУ), 2001. 174 с.
4. Пивинский Ю.Е.. Реология дисперсных систем, ВКВС и Керамбетоны. Элементы нанотехнологий в силикатном материаловедении. Избранные труды. Спб.: Изд-во Политехника, 2012. 682 с.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ФОРМОВАНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МОРОЗОСТОЙКОСТЬ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

**Дороганов Е.А., канд. техн. наук,
Сыса О.К., канд. техн. наук,
Шакурова Н.В., аспирант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Изучены технологические свойства составов пластических и полусухих масс, а так же влияние способа формования на микроструктуру керамического кирпича и на его морозостойкость. Выявлено, что высокие прочностные характеристики, не гарантируют получения высокой морозостойкости керамического кирпича.

Ключевые слова: керамика, керамический кирпич, структура, способы производства, морозостойкость.

Свойства строительного материала определяются его структурой. Структура, т.е. строение керамического тела, зависит от состава сырья и технологии данного материала. Для получения материала заданных свойств следует создать его внутреннюю структуру, обеспечивающую необходимые технические характеристики. В конечном итоге знание свойств материалов необходимо для наиболее эффективного его использования в конкретных условиях эксплуатации [1].

Технологические факторы, влияющие на структуру керамики являются доминирующими и действуют на всем протяжении изготовления изделий. В работе рассмотрено влияние способа производства на микроструктуру обожженного кирпича, полученного разными способами формования, из глин используемых на заводе Объединение строительных материалов и бытовой техники Чибисовского и Лебединского месторождений Белгородской области.

В ходе исследования были изучены минералогический и химический составы, физико-химические свойства глин, поведение их при сушке и обжиге. Определение химического состава производилось на основании данных, полученных при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра серии ARL 9900 WorkStation со встроенной системой дифракции. Результаты определения химического состава глинистого сырья приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Химический состав глин

Месторождение	Содержание компонентов, масс. %.								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ппп
Чибисовская глина	63,66	23,13	2,69	0,93	0,23	0,75	1,55	0,21	6,84
Лебединская глина	66,55	15,63	3,76	0,77	0,71	2,15	2,02	0,53	7,88

В качестве исходного состава масс использовался готовый заводской состав, приготовленный из вышеуказанных глин и сформованный в виде бруса. Из данной массы двумя способами: пластическим формованием и двухсторонним двухступенчатым полусухим прессованием при первом удельном давлении 50 кгс/см² и максимальном удельном давлении 150 кгс/см² и 300 кгс/см² – формовались образцы, представляющие собой кубики 30×30×30 мм, кубики 50×50×50 мм и балочки 60×15×10 мм.

Обжиг проводился при температурах 950, 1000, 1050 °С [2].

Были определены технологические свойства экспериментальных составов масс (табл. 3) и физико-механические характеристики образцов (табл. 4).

Таблица 3 - Технологические свойства составов масс

Способ формования	Формовочная влажность, %	Обозначение состава	Усадка воздушная, %	КЧС, см ³ /г
пластический	13,5	П	5,6	0,86
полусух. 150	5,0	ПС5	0,2	0,15
полусух. 150	8,0	ПС8	0,5	0,15
полусух. 300	8,0	ПС3	1,14	0,17

На основании данных таблицы 3 усадка воздушная у образцов полученных методом пластического формования составляет 5,6%, полусухого – 0,2-1,14%. По коэффициенту чувствительности к сушке все исследуемые составы можно отнести к малочувствительным (КЧС < 1) [3].

Таблица 4 - Физико-механические характеристики образцов, сформованных различными способами формования и обожжённых при максимальной температуре 1050 °С.

Обозначение состава	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Водопоглощение, %	Пористость открытая, %	Плотность кажущаяся, г/см ³	Усадка огневая, %.	Прогнозируемая марка кирпича
П	65,3	13,6	6,87	15,04	2,189	1,09	M300
ПС5	38,9	7,3	9,62	20,03	2,083	0,61	M175
ПС8	46,5	7,2	8,9	18,7	2,11	0,65	M200
ПС3	49,1	7,2	8,6	18,22	2,119	0,67	M200

Зависимость водопоглощения от способа формования, давления прессования и влажности пресс-порошка изображено на рис. 5. Кирпич изготовленный методом пластического формования имеет самые высокие физико-механические характеристики. Сравнительно одинаковые величины показали образцы полученные при давлении формования 150-300 МПа и влажностях 8%. Минимальные показатели наблюдаются у образцов сформованных при давлении 150МПа и влажности 5%.

Микроструктуру строительного материала изучали на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU. Различие структур пластического и полусухого формования показано на рис. 1-2.

При пластическом способе формования (рис.1) структура более упорядоченная, однородная, скол кирпича идет по зерну кварца, зерна кварца погружены в основную массу. При полусухом формовании при давлении 150 МПа они лежат на ее поверхности, скол зерен идет по границе зерна кварца и основной массы. Повышение влажности до 8% при давлении прессования 150 МПа и давление до 300 МПа приводит к уплотнению структуры кирпича. Большинство сколов кирпича идет по зерну кварца. Связь зерна кварца с основной массой при увеличении микроскопа 10 мкм приведена на рис.2.

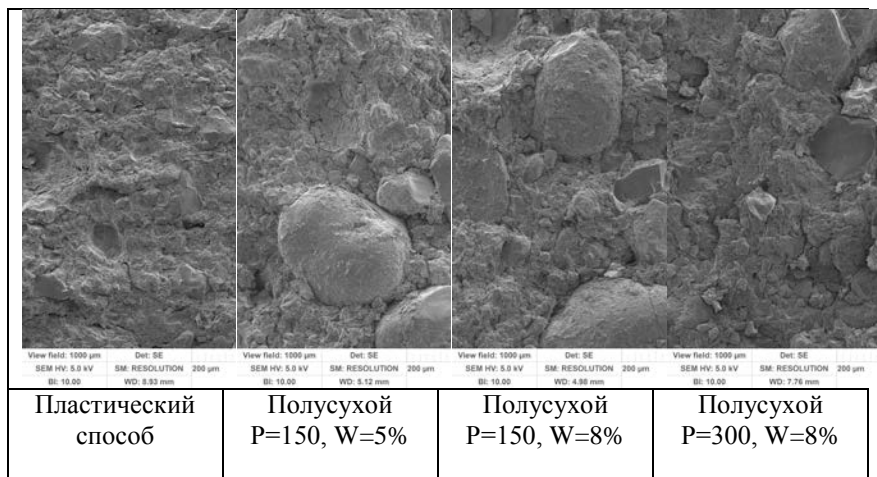


Рисунок 1 - Микрофотографии сколов образцов полученные различными методами формования при увеличении 1000мкм

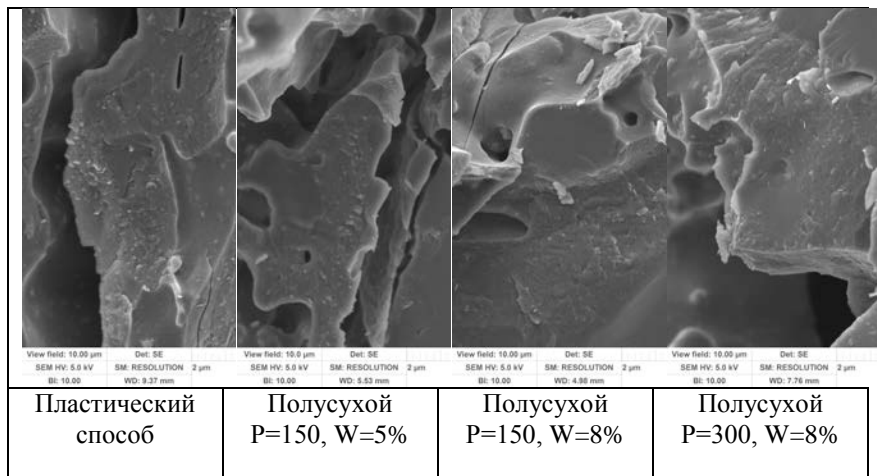


Рисунок 2 - Микрофотографии сколов образцов полученные различными методами формования при увеличении 10 мкм

На микрофотографиях показано (рис. 2), что самая слабая связь зерна кварца с основной фазой наблюдается у образцов полученных методом полусухого прессования при давлении 150МПа и влажности

5%. На рисунке виден четко слой пронизанный системой пор и скол кирпича идет по этим порам. При остальных способах формования контакт зерна с основной массой достаточно плотный. Скол идет не по порам, а по основной массе.

Образцы размером 50×50×50 мм были подвержены испытанию на морозостойкость по ГОСТ530-2012. У образцов пластического формования первые трещины появились на 9 цикле попеременного замораживания и оттаивания и на 7 цикле – у образцов, полученных способом полусухого прессования при давлении 150МПа и влажности 5%. Более 50 циклов выдержали кирпичи при давлениях 150-300МПа и влажности 8%.

Не смотря на то, что при пластическом способе формования, установлена максимальная прочность образцов, пониженная морозостойкость данных изделий может свидетельствовать о формировании неблагоприятной структуры кирпича с опасными порами [4]. Таким образом, требуются дальнейшие исследования влияния структуры образцов на морозостойкость керамического кирпича.

Список литературы:

1. [Электронный ресурс].<http://bibliotekar.ru/spavochnik-76/3.htm> (дата обращения 11.04.2019).
2. Августиник А.И., изд. 2, перераб. и доп. – Л. : Стройиздат, 1975-592с.
3. Гончаров Ю.И., Городова Н.В. Разработка технологии лицевого керамического кирпича на основе высокожелезистых глин Актюбинского месторождения (Казахстан) // Строительные материалы. – 2004. – №3. – С.26-27.
4. Беркман А.С. Пористая проникаемая керамика.-М.Гостройиздат 1959,-184с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Егорова А.Д., канд. техн. наук, доцент,
Алексеева А.Н., инженер,
Ефремова С.Е., бакалавр,
Ноговицина О.Н., бакалавр
*Северо-восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова*

Аннотация. В статье представлены результаты исследования химического и минералогического состава, физических свойств глинистого сырья месторождений Санниковское Намского улуса, Намцырское и Кангаласское г. Якутска. Определено содержание глинообразующих минералов в исследуемых глинах. Изучена микроструктура керамического черепка после обжига при 1000°C.

Ключевые слова: глинистые породы, минералогия глин, свойства глин, керамика, микроструктура глин.

Обеспечение строительного рынка Якутии экологически чистым, качественным, энергоэффективным материалом, отвечающим требованиям современных условий является приоритетной задачей. Ограждения из керамического материала имеют такие же характеристики по паропроницаемости, как и деревянные, что обеспечивает здоровый микроклимат. Кирпичный дом пожаробезопасен, долговечен, натуральный, надежен, имеет огромное разнообразие дизайн-проектов. Такие дома практически не подвергаются порче: гниению, трещинам, деформации, коррозии.

Глинистого сырья в Якутии много, но производства керамических изделий нет. Поэтому исследование структуры глинистых материалов является интересной задачей в направлении строительных керамических материалов.[1]

По природе все глины состоят из одного глинистого минерала, но многие представляют собой смесь глинистых минералов. Минералогический состав изучаемых образцов проведен на основании рентгеновского фазового анализа (РФА). Основное количество рентгеновских порошковых дифрактограмм получено на рентгеновском дифрактометре общего назначения ДРОН-3.0. Большую часть съемок производили при пределе измерения 4000 имп/сек, постоянного времени – 1с и в диапазоне двойных углов (2θ) 4-64°. [2]

Анализ облегчается, если известен приблизительно химический состав исследуемого материала или предполагаемый минеральный состав.

Химический состав исследуемой глины определили рентгенофлуоресцентным анализом на рентгеновском спектрометре SRS-3400. Данные исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав исследуемой глины

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
Санниковское месторождение								
61.44	14.23	14.3	4.27	2.14	2.63	2.11	0.73	0.13
Намцърское месторождение								
63.57	22.38	1.71	0.54	0.55	2.49	0.95	0.81	0.04
Кангаласское месторождение								
60.28	34.38	0.95	0.69	0.49	0.78	0.33	1.49	0.07

Анализ химического состава глинистого сырья показывает, что основная разница между ними в содержании важнейших оксидов Al₂O₃ и Fe₂O₃, обуславливающих легкоплавкость глин.

Минералогический состав глин исследовали в Институте горного дела севера СО РАН на дифрактометре D8 Discover с системой GADDS (General Area Detector Diffraction System). Рентгенометрическая диагностика минеральных кристаллических фаз проведена с использованием базы дифракционных данных ICDD PDF-2 программы идентификации поставленные с прибором и поисковой системы Crystallographica Search-Match (Oxford Cryosystems). Полученные пики минералогического состава исследуемых глин приведены на рисунке 1.

Выявлено, что Санниковская глина по своему минеральному составу имеет среднюю концентрацию каолинита – Al₄[Si₄O₁₀](OH)₈·nH₂O (12,2 %), много примесей полевых шпатов – 44,4%, кварца – SiO₂ (11,1 %) и пирита – FeS₂ (22,2 %).

Намцърская глина имеет сложный полиминеральный состав, обнаружены минералы подгруппы кварца (кварц 56,5%), калий-натриевых полевых шпатов (альбит – 11,5%, ортоклаз – 12,6%), каолинит (4%), а также обнаружены гидрослюдистые минералы – 4,9%.

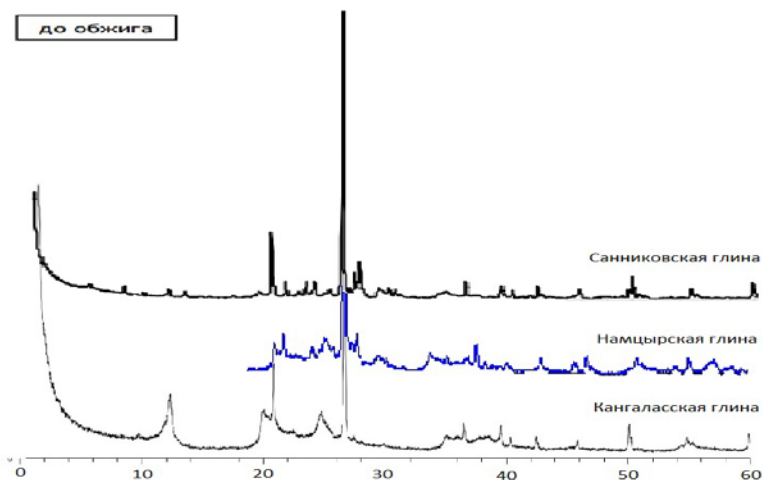


Рисунок 1 - Результаты качественного анализа фазового состава глинистого сырья до обжига

Кангаласская глина содержит следующие минералы: каолинит – $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (69,8 %); кварц SiO_2 (19,7 %), а также галлуазит – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (10,5 %) глинистый минерал подкласса слоистых силикатов, по составу близок каолиниту.

Далее изготавливались образцы плитки толщиной 5 мм полусухим прессованием, которые высушивали в естественных условиях и обжигали при температуре 1000°C.

На основании проведённых исследований установлено, что микроструктура обожженных керамических черепков при 1000°C представлена каолинитово-галлуазитовыми минералами, кварцем и плавнями полевого шпата. Строение микроструктуры удостоверили микроскопическим методом, при полном рассмотрении обожженного черепка на растровом электронном микроскопе (рисунок 2).

Преобразования минералов массы при нагревании проходят в три этапа: разрушение минерала, полиморфные превращения и образование новых минералов и соединений.

После обжига в керамических образцах образуется первичный каолинит, нерастворенный α -кварц и полевые шпаты, что влияют на характеристику физических свойств изделий.

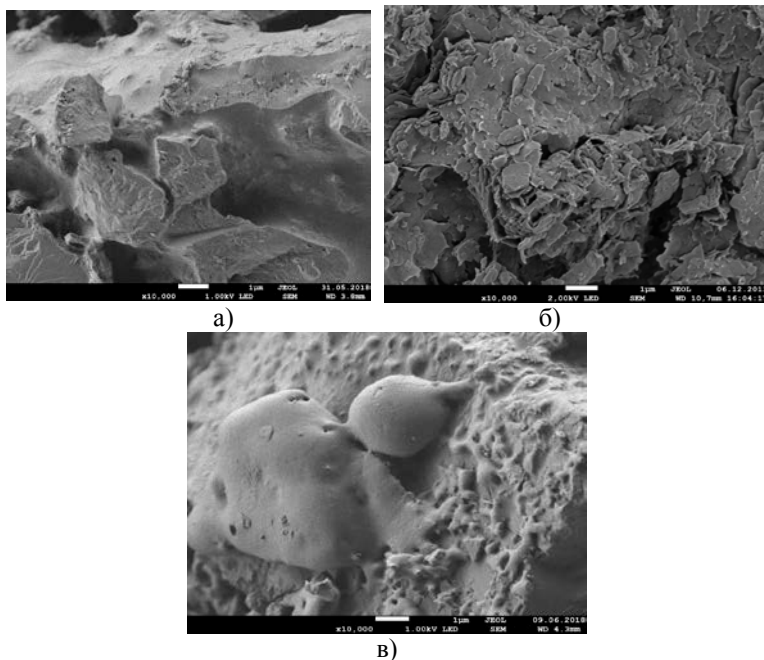


Рисунок 2 - Микроструктура обожженной глины при 1000°С (увеличенный в $\times 10000$ раз): а – Санниковская; б – Намцырская; в - Кангаласская.

Удаление химически связанной воды при обжиге сопровождается четко выраженным эндотермическим эффектом. В результате молекулы каолинита перестраиваются, кристаллическая решетка ослабляется за счёт химических связей между Al_2O_3 и SiO_2 в каолиновом остатке [4]. В нашем случае каолинит в Намцырской и Кангаласской глине при обезвоживании сохраняет некоторую степень кристалличности.

Полевые шпаты в Санниковской глине создают жидкую фазу за счет собственного перехода в расплав. При низких температурах до 600—700° С полевой шпат в массе изделий является отошителем.

В результате растворения полевошпатовый расплав у поверхности зерен каолинового остатка насыщается больше глиноземом, у поверхности кварца — кремнеземом.[4]

Форма минералов, видимая под электронным микроскопом, показывает, что кристалличность минералов глин варьирует от хорошо до плохо окристаллизованных и структурно-неупорядоченных фаз.

Пластичность и влагоёмкость являются важнейшими физическими свойствами глинистых пород, определяющих режимы формования, сушки и обжига. Результаты показателей свойств глинистых пород указаны в таблице 2.

Таблица 2 - Свойства глин

	Название глинистого сырья	Пластичность	Средняя влажность, %
	Санниковская глина	9,7	25,4
	Намцырская глина	15,0	27,6
	Кангаласская глина	17,3	31,1

По значению пластичности Намцырское и Кангаласское глинистое сырьё относится к среднепластичным глинам, Санниковская – умереннопластичной глине. Из исследованных данных высокими пластическими и влагоёмкими свойствами характеризуются каолиновые глины, и промежуточными – глина с предельным содержанием примесей полевых шпатов и пирита.

В дальнейшем сделанный анализ исследований минерального состава глинистого сырья поможет определить строение и синтез новых веществ. Наше исследование предусматривает цепочку изучения материала от сырья до получения качественной готовой продукции.

Список литературы:

1. Салахов А.М. Керамика с высоким содержанием силикатов кальция / Салахов А.М., Тагиров Л.Р., Морозов В.П., Кабиров Р.Р., Салахова Р.А., Фасеева Г.Р. // Строительные материалы. – 2012. – №8. – 32-34 с.
2. Федоров, П.А. Исследование структуры глинистого сырья, пригодного для производства изделий строительной керамики (в примерах и задачах): учеб. пособие / П.А. Федоров. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. – С. 64.
3. Пушаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. – М. «ГеоИнформак» 2000 г. – С. 292.
4. Мороз И.И. Технология фарфоро-фаянсовых изделий: учебник для техникумов. – М.: Стройиздат, 1984. 334 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОБЕТОНОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Ерофеев В.Т., д-р техн. наук, профессор,
Дергунова А.В., канд. техн. наук, доцент,
Аль Дулайми С.Д.С., инженер
*Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарева*

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения долговечности зданий и сооружений. Исследуются процессы разрушения бетона. Приводятся современные методы самовосстановления бетонных конструкций, в том числе с помощью уреалитических штаммов бактерий. Проведены исследования осаждения кальцита в результате действия микроорганизмов и механизмы этого процесса в биобетоне.

Ключевые слова: строительные материалы и конструкции, долговечность, бетон, биобетон, уреалитические штаммы бактерий.

В последние годы отечественными и зарубежными авторами отмечается, при проектировании зданий и сооружений важно обеспечить не только несущую способность конструкций, но и их долговечность. Тем не менее, при традиционном проектировании зданий и сооружений износ конструкций в течение длительных периодов времени не считается серьезной проблемой. Гораздо большее воздействие на людей или общество в целом оказывает разрушение конструкций. Принимая во внимание эти социальные факторы, очевидно, мы не должны рассматривать проблему долговечности строительных материалов как проблему прошлых времен. Необходимо разработать новые экологичные методы самовосстановления, чтобы увеличить долговечность уже спроектированных зданий и тех, которые еще будут построены.

Выбор материалов и технологий для возведения зданий и сооружений должны удовлетворять осознанным потребностям заказчика, а также потребностям развития общества, не оказывая негативного воздействия на окружающую среду. Первостепенное значение приобретает требование долговечности высотных и большепролетных зданий и сооружений из-за значительных затрат на строительство и социальную значимость. Строительным материалом может быть любой материал, который используется для строительства. Наиболее широко используемым строительным материалом во всем мире является бетон.

Актуальная проблема разрушения бетона и экономические последствия технического обслуживания и ремонта бетонных конструкций привлекли внимание к процессам разрушения бетона, а также к способам замедления или даже устранения деструкции бетона [1]. Сохранение прочности бетона обусловлено его устойчивостью к деструкции, особенно к повреждениям под воздействием атмосферных влияний, физического, химического, биологического или другого воздействия. Долговечный бетон должен сохранять форму, качество и эксплуатационные свойства на протяжении всего установленного срока службы.

В результате таких природных процессов, как выветривание, оседание почвы, землетрясения, а также деятельности человека в бетонных конструкциях возникают трещины и разрушения, которые имеют негативные последствия, поскольку могут уменьшить срок службы зданий и сооружений. Атмосферные воздействия вызывают повышение пористости, ослабление прочности поверхностных слоев и ухудшение внешнего вида конструкций. Для их восстановления осуществляется обработка поверхностей водоотталкивающими материалами и затирка пор. Однако эти и другие способы обработки органическими и неорганическими средствами влекут за собой некоторые негативные факторы, такие как различного вида термические расширения, разрушение со временем и необходимость регулярного технического обслуживания. Появление трещин и разрушений является неизбежным явлением в процессе действия нагрузок и старения бетонных конструкций под воздействия погодных факторов. Такое растрескивание способствует легкому проникновению агрессивной среды к арматуре и появлению коррозии. Очень часто ремонт конструкций осуществляется в условиях невозможности закрытия предприятия, или он наносит вред людям. Следовательно, для таких ситуаций должен быть найден способ автоматической герметизации трещин самовосстанавливающимися материалами. В последнее время появилось сообщение об инновационной методике использования микроорганизмов для устранения щелей и трещин в естественных образованиях и созданных человеком сооружениях путем осаждения карбоната кальция.

В большинстве этих исследований в качестве агента для биопродуцирования минералов на основе карбоната кальция были использованы уреалитические штаммы бактерий рода *Bacillus* [2]. Механизм образования карбоната кальция этими бактериями основан на ферментативном гидролизе мочевины до аммиака и двуокиси углерода.

Такие бактерии, добавленные в цементную смесь перед бетонированием конструкции, должны сохранять жизнеспособность в течение длительного периода после введения в цементную матрицу и производить значительное количество минералов, необходимых для закупоривания или герметизации свежесформованных трещин. Таким образом, входящие в структуру бактерии представляют собой действующее изнутри средство самовосстановления, автономно уменьшающее проницаемость бетона при образовании трещин. Комплексное биовосстанавливающее вещество позволит сохранить ручной досмотр и ремонт и, кроме того, повысит прочность конструкций.

Осаждение кальцита под воздействием микроорганизмов (MICP) является методом более широкой научной категории, именуемой «биоминерализация». Этот процесс образования неорганических твердых веществ живыми организмами. Процесс MICP крайне желателен, поскольку осаждение кальцита в результате микробной деятельности, является естественным процессом и не вызывает загрязнения окружающей среды. Перспективные результаты этого метода поддерживаются различными научно-исследовательскими группами в мире в целях популяризации дальнейшего развития MICP.

Подробные исследования осаждения кальцита в результате действия микроорганизмов и механизмы этого процесса не проводились. Исследователи сосредоточились, главным образом, на активности уреазы и осаждении кальцита бактериями вида *Bacillus*. Другие виды родственных или неродственных таксонов вида *Bacillus* могут иметь способность осаждать кальцит в щелочной среде. Бактерии, вырабатывающие щелочь, имеют разнообразный характер, но бактерии вида *Bacillus* изучались систематически с целью их использования для получения промышленно важного фермента и для биовосстановления. Кроме того, необходима оценка разновидности микроорганизмов и динамики структуры сообщества микроорганизмов, проживающих в алкалофильной среде, какой являются сточные воды цементных заводов, системы сброса в районах добычи известняка и кальцита. Сведения о разновидности микроорганизмов, заселяющих систему сброса шлама кальцита, будут ценной информацией об обитающей там доминирующей и редко встречающейся индигенной микрофлоре, и будут важны при выборе микробов для восстановления дефектов в строительных материалах.

Целями наших исследований являлись:

- выделение и идентификация эффективных бактерий и микроорганизмов для производства биобетонов;
- на основе физиологических и молекулярных особенностей определения параметров биобетона, который производят бактерии;
- оценка свойств микроорганизмов для ликвидации дефектов в строительных материалах и конструкциях, таких как цементные растворы, бетоны, кирпич и железобетонные образцы.

Основные результаты, полученные авторами приведены в опубликованных работах [3, 4, 5].

Список литературы:

1. Ghosh, S.K. (ed.) *Self-healing materials: fundamentals, design strategies, and applications*, Wiley WCH, Weinheim - 2009. - P. 183-218.
2. Microbial carbonate precipitation in construction materials: A review W. De Muynck, N. De Belie, W. Verstraete (2010) // *Ecol. Eng.* 36 (2): - p. 118-136.
3. Аль Дулайми Салман Давуд Салман. Исследование изменений прочностных характеристик цементных композитов в зависимости от концентрации в них бактерий и возраста образцов / В.Т. Ерофеев, Аль Дулайми Салман Давуд Салман // *Приволжский научный журнал. Строительные материалы и изделия.* – 2018. – № 3. – С. 70–77.
4. Баженов Ю.М. Технология самовосстановления железобетонных конструкций с помощью микроорганизмов / Ю.М. Баженов, В.Т. Ерофеев, Аль Дулайми Салман Давуд Салман // *Всероссийский информационно-аналитический и научно-технический журнал Русский инженер.* – М. – 2018. – № 4– С.46–48.
5. Ерофеев В.Т. Бактерии для получения самовосстанавливающихся бетонов / В.Т. Ерофеев, Аль Дулайми Салман Давуд Салман, В.Ф. Смирнов / *Интернет-журнал «Транспортные сооружения».* – 2018. – № 4, Том 5– С.1–13.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОКСИДА КАЛИЯ С ТРЕХКАЛЬЦИЕВЫМ АЛЮМИНАТОМ

Ерыгина А.О., аспирант,

Мишин Д.А., канд. техн. наук, доцент,

Никитина М.А., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Аннотация. Для решения вопросов, связанных с уменьшением негативного влияния солей щелочных металлов на качество клинкера, а также технологические процессы, необходимо изучить возможные химические превращения и взаимодействия K_2O и Na_2O с сырьевыми компонентами и основными клинкерными минералами во всех технологических зонах вращающейся печи цементного производства. Если температурные интервалы обжига до $1100^{\circ}C$ и выше $1300^{\circ}C$ на данный момент полностью изучены, то промежуток температур от 1100 до $1300^{\circ}C$ – нет.

Ключевые слова: портландцементные клинкерные минералы, трехкальциевый алюминат, оксид щелочного металла, оксид калия, настлы, наросты, отложения, алюминат калия, твердый раствор, портландцементный клинкер, циркуляция щелочных соединений.

В составе сырьевых материалов, используемых для производства портландцементного клинкера, всегда содержится небольшое количество щелочных примесей. Соответственно, данные соединения будут присутствовать либо в основных клинкерных фазах, либо в виде щелочных фаз. R_2O во вращающейся печи могут выступать как промежуточные соединения или как нежелательные отложения. Влияние примесей щелочных соединений на технологические процессы, а также минералообразование изучены достаточно подробно [1 – 8], но область исследований останавливается на температурных интервалах до 1100 и выше $1300^{\circ}C$.

Целью исследования является изучение влияния оксида калия, как примеси, присутствующей во вращающейся печи цементного производства, на процессы минералообразования в интервале температур обжига от 1100 до $1300^{\circ}C$.

Синтезированный клинкерный минерал C_3A обжигался с K_2O при различных мольных отношениях и температурах (табл. 1), далее проводилась идентификация полученных фаз методом рентгенофазового анализа.

Таблица 1 - Состав смесей и условия обжига

Состав исходных смесей	Мольные отношения	Температура обжига, °С	Время изотермической выдержки, мин
$C_3A + K_2O^*$	3:1; 2:1; 1:1; 1:2; 1:3	1150	10

*Оксид калия вводился в исходные смеси в виде K_2CO_3

Установлено, что химическое взаимодействие оксида калия протекает с исследуемым клинкерным минералом, трехкальциевым алюминатом, при температурах обжига 1100 – 1300°С. Рентгенофазовый анализ состава обожженных образцов C_3A и K_2O при 1150°С показал, что начальная стадия протекания данного химического взаимодействия начинается уже в тех смесях, где количество вещества оксида калия в 3 раза меньше, чем трехкальциевого алюмината (рис. 1а). Об этом говорят отражения CaO 2,406Å; 2,783Å (рис. 1а), однако максимумов какой-либо другой фазы кроме CaO и C_3A (2,697Å; 2,716Å; 2,208Å) при 1150°С не обнаружено.

При обжиге смеси, содержащей $C_3A:K_2O=1:1$, зафиксированы отражения $K_2O \cdot Al_2O_3$ 2,952Å; 2,574Å и его гидратной фазы $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot H_2O$ 2,782Å; 2,611Å (рис. 1б). Следовательно, протекает реакция между трехкальциевым алюминатом и оксидом калия, но ввиду наличия при 1150°С C_3A (2,697Å; 2,727Å), как исходного компонента, химическое взаимодействие образования алюмината калия происходит не до конца.

Обжиг смеси, где соотношение исходных компонентов $C_3A:K_2O=1:3$, также не дает полного взаимодействия клинкерного минерала и оксида щелочного металла с образованием алюмината калия и CaO (рис. 1в). На данной рентгенограмме присутствуют отражения твердого раствора K_2O в $3CaO \cdot Al_2O_3$ (максимумы 2,694Å; 2,713Å). По данным картотеки ASTM и [9 – 11] в смесях с большим содержанием оксида калия, как исходного компонента, возможно образование $C_{8,5}KA_6O_{18}$. Это говорит о том, что при мольном содержании K_2O , превышающем мольное количество C_3A более, чем в 3 раза, разложение трехкальциевого алюмината протекает не полностью, а остается в виде твердого раствора (рис 1в).

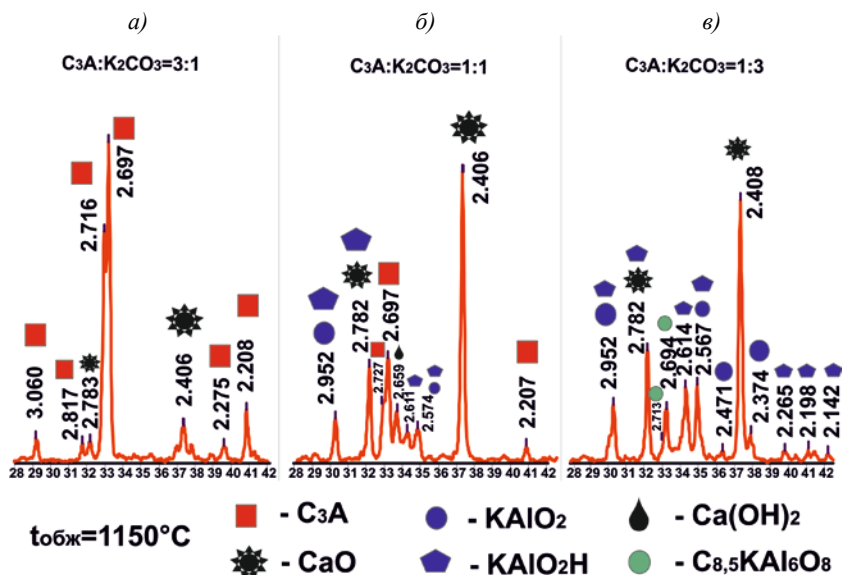
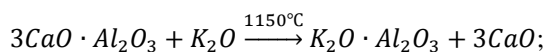


Рисунок 1 - Особенности взаимодействия C_3A с K_2O при 1150°C и изотермической выдержке 10 минут, где а – смесь с мольным количеством исходных компонентов 3:1; б – смесь с мольным количеством исходных компонентов 1:1; в – смесь с мольным количеством исходных компонентов 1:3

Выводы:

1. Оксид калия взаимодействует с клинкерным минералом C_3A в интервале температур обжига от 1100 до 1300°C по следующей химической реакции:



2. При 1150°C и мольном содержании K_2O , превышающем мольное содержание C_3A в исходных смесях более чем в 3 раза, разложение трехкальциевого алюмината протекает не до конца, а с образованием твердых растворов K_2O в $3CaO \cdot Al_2O_3$.

Список литературы:

1. Классен В. К. Обжиг цементного клинкера. Красноярск.: Стройиздат, 1994. 323 с.
2. Классен В.К., Долгова Е.П. Хлориды щелочных металлов в производстве цемента: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 182 с.
3. Лугинина И.Г. Избранные труды. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 302 с.
4. Таймасов Б.Т., Классен В.К. Химическая технология вяжущих материалов: учебник. – 2-е изд., доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. 448 с.
5. Классен В.К. Технология портландцемента: избранные труды. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. 530 с.
6. Ходоров Е.И., Корольков А.В. Циркуляция летучих соединений во вращающихся печах с теплообменниками и декарбонизатором // Цемент, 1984. №1. С. 13 – 15.
7. Тейлор Х. Химия цемента; пер. с англ. М.: Мир, 1996. 560 с.
8. Викторенков В.И., Волконский Б.В. Циркуляция щелочей в печах с циклонными теплообменниками // Цемент, 1965. №6. С. 12 – 14.
9. Горшков, В.С., Тимашев В.В. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.:Высш. школа, 1963. 287 с.
10. Шамшуров В.М. Рентгенофазовый анализ: метод. указания к выполнению лабораторных и научно-исследовательских работ для студентов специальности 250800-Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1998. 48 с.
11. Энергосберегающая технология строительных материалов: сб. тр. / под. ред. В.Д. Барбанягрэ, Л.Н. Балятинская, Н.М. Баранников, А.Н. Классен, Г.П. Поляков, Л.А. Дейнека. Белгород: БТИСМ, 1988. 166 с.

СЫРЬЕВЫЕ ИСТОЧНИКИ ПРИАРАЛЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В УЗБЕКИСТАНЕ

Жуманиязов М.Ж.,
Бабаев З.К.,
Ходжаев А.Ш.,
Юсупова М.Р.

Ургенчский государственный университет

Аннотация. В результате проведенных исследований установлена возможность широкомасштабной организации производства портландцемента в условиях Приаралья, в качестве сырьевых материалов для которого могут служить новые местные источники минеральных ресурсов, что несомненно будет отражаться в снижении себестоимости получаемой продукции.

Ключевые слова: промышленность, строительным материалом, цемент, портландцемент, портландцементного клинкер.

Развитие строительной индустрии Республики Узбекистан, прежде всего, было связано с поддержанием достойного уровня жизни населения страны, решением жилищного вопроса, обеспечением доступным и комфортным жильём. В предложенной Президентом Ш. Мирзиёевым Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах особое место уделено отрасли стройиндустрии как локомотиву экономики по дальнейшему ускоренному развитию строительства зданий и сооружений, новых объектов промышленности и субъектов частного предпринимательства, железных и автомобильных дорог, жилых домов. Регион Приаралья отличается не только экологическими факторами, но здесь имеется огромный дефицит к строительным материалам, в том числе портландцемента.

По итогам 9 месяцев 2018 года потребление цемента в Узбекистане составило около 8,2 млн. тонн, что на 13% больше, чем за аналогичный период предыдущего года. В том числе по итогам 3-го квартала текущего года потребление цемента в стране выросло на 19%. На протяжении всего текущего года баланс «производство-потребление» цемента в Узбекистане оставался стабильно отрицательным, т.е. объемы потребления цемента в стране превышали уровень его производства. Дефицит цемента по итогам 9 месяцев составил свыше 2 млн. тонн. При этом на фоне 5% снижения объемов производства импорт цемента за 9 месяцев 2018 г. вырос почти в 3 раза. По состоянию на конец сентября

текущего года средняя цена приобретения цемента в Узбекистане выросла почти на 25% к уровню декабря предыдущего года. За аналогичный период 2017 года рост цен составил всего 11%. При этом на протяжении всего текущего года отмечается ускорение темпов роста цен на цемент. По состоянию на сентябрь 2018 года средняя цена приобретения цемента в стране составила 738 306 сум/т. или больше 90 долларов США. Для снижения дефицита портландцемента правительством Узбекистана в условиях Приаралья принимаются конкретные меры, в том числе организация производства портландцемента в регионах, примером которого является «Каракалпакцемент», построенный в Караузакском районе Республики Каракалпакстан. Также в этом регионе готовится к запуску новый завод - СП ООО «Титан цемент», основными сырьевыми ресурсами которого являются местные минеральные ресурсы из горной системы «Султан Увайс».

Как известно, для получения портландцементного клинкера требуемого состава в сырьевую смесь добавляют несколько компонентов - карбонатные и глинистые горные породы [1]. Наряду с сырьевыми материалами природного происхождения применяются отходы промышленности [2]. Кроме того, в производстве портландцемента используются различные корректирующие добавки. К химическому составу глинистых пород предъявляют следующие требования: количество СаО не ограничивается; допустимое содержание MgO зависит от размера его в известковом компоненте с учетом того, что в клинкере содержание MgO должно быть не более 5 %; количество Na₂O и K₂O в сумме не более 1 % [1]. Корректирующие добавки применяют для получения сырьевой смеси заданного химического состава. Обычно для облегчения спекания клинкера стремятся понизить глиноземный модуль, повышая содержание оксида железа. В качестве железистых добавок используют колчеданные огарки, колошниковую пыль, железные руды [3]. Однако они, как правило, значительно увеличивают себестоимость сырьевой смеси, поэтому их применение ограничено.

Организация производства портландцемента в условиях Приаралья с точки зрения обеспечения сырьевых ресурсов является весьма перспективным, т.к. в регионе располагаются крупные залежи мергеля, известняка, глины, гематитов и др. Также имеются огромные запасы техногенного сырья, использование которых влияют на экологические проблемы региона. В нижеследующей таблице, даны краткие

характеристики основных сырьевых источников пригодных для производства портландцемента (см.табл.).

Кроме того, имеются большие запасы мергелей в Турткульском районе (хр. Калатау) и Хазараспском районе (Саримой), известняка в участке Учучок (Хазараспский район), а также отходы производства. К отходам можно отнести дефекат сахарного производства, который образуется в АО «Хоразм шакар». До настоящего времени накопилось более 400 тыс. тонн сырья, при ежедневном выбросе 30-40 т. По применению дефеката в производстве портландцемента имеется опыт российских ученых [5-6]. Также имеются необходимые запасы гематита, глежи, бентонитовых глин [7], которые могли бы использоваться как корректирующие добавки для портландцемента высокой морозной стойкости.

Из литературных источников [1] известно, что химический состав портландцементного клинкера сложен, но постоянен. Содержание отдельных оксидов колеблется в ограниченных пределах. Соотношения компонентов сырьевой смеси выбирают с таким расчётом, чтобы полученный при обжиге портландцементный клинкер имел следующий химический состав: CaO- 63- 68%; Al₂O₃ - 4-8%; SiO₂ - 19-24%; Fe₂O₃ - 2-6%. На основе данных, приведенных в таблице 2, нами был произведен расчет сырьевой смеси по методике Волженского [1]. В результате математических расчетов получен состав сырьевой смеси для производства портландцементного клинкера, отвечающего требованиям ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» [8,9].

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена возможность широкомасштабной организации производства портландцемента в условиях Приаралья, в качестве сырьевых материалов для которого могут служить новые местные источники минеральных ресурсов, что несомненно будет отражаться в снижении себестоимости получаемой продукции.

Таблица - Химический состав сырьевых ресурсов Приаралья для производства портландцемента

Месторождение	Содержание оксидов (в %)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Ппп
Глина (Актау-Каратау)	65,25	13,65	4,70	3,54	1,38	0,10	1,45	3,45	0,47	7,23
Глина (Северо-Джамансайское)	62,60	15,06	5,99	0,70	1,54	0,12	1,53	2,70	1,16	8,20
Мергель (Порлитау)	14,83	7,33	3,05	42,12	0,78	-	-	-	0,33	35,70
Известняк (Куянчик)	2,32	1,49	0,50	55,25	2,18	-	-	-	следы	42,20
Известняк (Северо-Джамансайское-2)	0,55	0,11	0,085	53,06	0,01	-	0,03	0,03	0,10	43,41
Известняк (Северо-Джамансайское-1)	16,60	0,17	0,10	54,50	0,83	-	-	-	0,07	43,80
Известняк (Кунградское)	3,56	0,99	0,29	53,5	0,34	-	-	-	0,48	42,20
Известняк (Аксайское)	2,35	0,24	0,18	50,70	3,18	-	0,10	0,10	0,10	42,90
Известняк (Устюртское)	0,01	0,41	0,52	51,40	0,66	-	-	-	0,89	46,10
Известняк (Актау)	0,38	0,30	0,18	55,50	-	-	-	-	-	52,20

Список литературы:

1. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. «Минеральные вяжущие вещества». М.: Стройиздат, 2009. - 358 с.
2. Холин И.И. Справочник по производству цемента. – М.: Книга по требованию, 2012. - 854 с.
3. Шмитько Е. И., Крылова А. В., Шаталова В. В. Химия цемента и вяжущих веществ; Проспект Науки - Москва, 2010. - 208 с.
4. Классен В.К., Классен А.Н., Беляева М.В., Киреев Ю.Н. Использование отхода сахарного производства для получения цемента по мокрому способу // Успехи современного естествознания – 2009 - №5. – с.23-26.
5. Тершин В.Н. Строительные материалы с использованием известковых отходов сахарного производства: Дис...канд.техн. наук 05.23.05. Новосибирск, 2004. 142 с.
6. Сводный обзор месторождений и проявлений твердых полезных ископаемых Республики Каракалпакстан. - Ташкент 2001-388 с.
7. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
8. ГОСТ 5382-91. Цементы и материалы цементного производства.

КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТИ НАПОЛНИТЕЛЯ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Зайченко Н.М., д-р техн. наук, профессор,
Нефедов В.В., ассистент

*Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры*

Аннотация. Целью исследования является усиление межфазного взаимодействия в полимерном композите за счет контролируемого изменения кислотно-основных характеристик поверхности наполнителя, путем обработки его поверхности растворами серной и азотной кислот. Для изучения кислотно-основных центров на поверхности наполнителя была применена методика адсорбции индикаторов на поверхности твердых веществ из водной среды.

Ключевые слова: полимерный композит, кислотно-основные характеристики, полиэтилентерефталат, зола-уноса.

Разрабатываемый полимерный композит включает в себя в качестве дисперсной фазы (наполнителя) золу-уноса Зуевской теплоэлектростанции (г. Зугрэс), в качестве непрерывной фазы (связующего) - вторичный полиэтилентерефталат (переработанная ПЭТФ-тара).

Важной характеристикой, отражающей реакционную способность поверхности фаз композитов в донорно-акцепторных взаимодействиях, являются кислотно-основные свойства [1]. Наиболее сильное взаимодействие достигается тогда, когда один из контактирующих материалов фаз обладает преимущественно кислотными, а другой – основными свойствами [2,3]. Согласно [4], если фазы нейтральны или обе фазы имеют только основные (или только кислотные характеристики), то кислотно-основные взаимодействия не наблюдаются.

Ранее, на основании изучения кислотно-основных составляющих свободной поверхностной энергии, используемого для изготовления связующего вторичного полиэтилентерефталата, был установлен её преимущественно основной характер [5]. Соответственно, для эффективного кислотно-основного взаимодействия поверхность наполнителя должна иметь преимущественно кислотные характеристики.

С целью направленного изменения кислотно-основных характеристик золы-уноса, в частности увеличения концентрации поверхностных кислотных центров адсорбции был применён метод обработки частиц наполнителя растворами кислот. Навеска золы-уноса помещалась в растворы азотной (HNO_3) и серной (H_2SO_4) кислот с концентрацией 1,3 и 5% в течении 1 часа при температуре 20 ± 2 °С. Далее навеска высушивалась при температуре 105-110 °С и охлаждалась.

Для выявления распределения и концентрации кислотно-основных центров на поверхности частиц золы-уноса использовался спектрофотометрический метод адсорбции индикаторов с различными значениями pK_a [1]. Данный метод основан на адсорбции одноосновных индикаторов на поверхности твердых веществ из водной среды.

Адсорбция индикатора в условиях анализа происходит как на центрах Бренстеда, так и на центрах Льюиса, на которых адсорбированы молекулы воды в соответствии с его значением pK_a . Количественное определение в результате дает суммарное содержание на поверхности исследуемого образца кислотно-основных центров адсорбции Льюиса и Бренстеда [6].

Количественное определение активных центров адсорбции проводилось в УФ- и видимой областях спектра с использованием спектрофотометра ПЭ-5400УФ. Растворы фотометрировались при длине волны, соответствующей максимальному поглощению каждого индикатора (λ_{max}). Использованные индикаторы приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики использованных кислотно-основных индикаторов [6].

№	Название индикатора	pK_a	λ_{max} , нм
1	2,4-динитроанилин	-4,4	340
2	о-нитроанилин	-0,3	410
3	Кристаллический фиолетовый	0,8	580
4	Бриллиантовый зеленый	1,3	610
5	Фуксин	2,1	540
6	м-нитроанилин	2,5	340
7	Метилловый оранжевый	3,5	460
8	Бромтимоловый синий	7,3	430
9	Феноловый красный	8,0	430
10	Тимоловый синий	8,8	430
11	Индигокармин	12,8	610

Содержание активных центров адсорбции, эквивалентное количеству адсорбированного индикатора, рассчитывалось по следующей формуле [6]:

$$q_{pKa} = \frac{C_{инд} \cdot V_{инд}}{D_0} \left(\left| \frac{D_0 - D_1}{a_1} \right| \pm \left| \frac{D_0 - D_2}{a_2} \right| \right) \quad (1)$$

где $C_{инд}$ - концентрация раствора индикатора, мг-моль/мл;

$V_{инд}$ - объем раствора индикатора, мл;

D_1 - оптическая плотность раствора индикатора до сорбции;

D_2 - оптическая плотность раствора индикатора после сорбции;

D_0 - оптическая плотность раствора индикатора;

a_1 и a_2 – навески образцов при измерении оптических плотностей D_1 и

D_2 , соответственно.

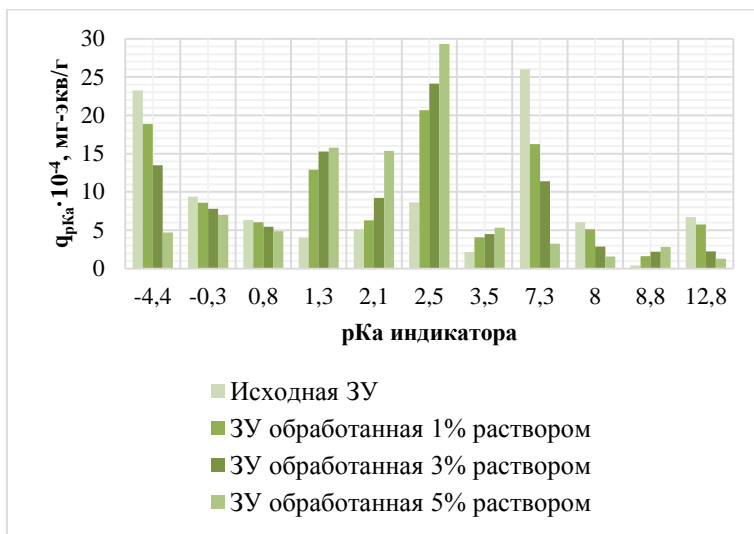


Рисунок 1 - Содержание активных центров на поверхности золы-уноса (ЗУ), обработанной растворами H_2SO_4

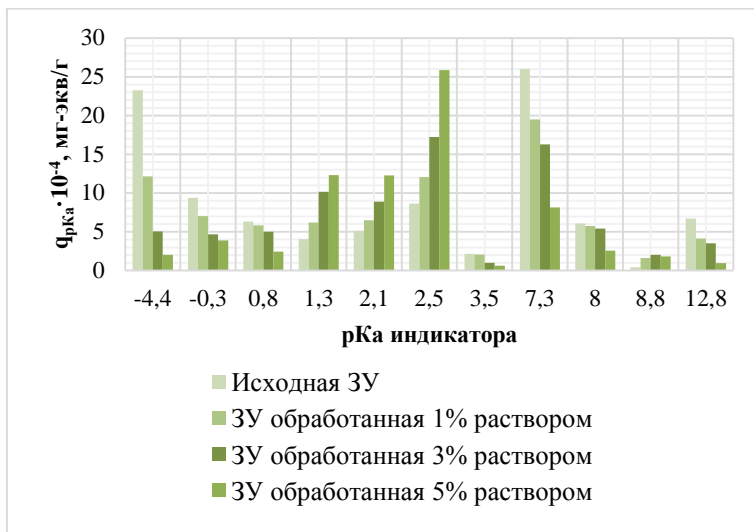


Рисунок 2 - Содержание активных центров на поверхности золы-уноса (ЗУ), обработанной растворами HNO_3

Исходя из полученных результатов для исходной золы-уноса преимущественными являются кислотные центры адсорбции Льюиса ($pK_a = -4,4; -0,3$), кислотные ($pK_a = +2,5$) и основные ($pK_a = +7,3$) центры Бренстеда.

После обработки наполнителя с увеличением концентрации кислот в растворах наблюдалось значительное увеличение концентрации кислотных центров ($pK_a = +1,3; 2,1; 2,5$) Бренстеда, а также снижение концентрации основных центров ($pK_a = +7,3$).

Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения приведенного метода обработки наполнителя для усиления межфазного взаимодействия в разрабатываемом композите.

Список литературы:

1. Танабе К. Твердые кислоты и основания – М.: Мир, 1973. - 156 с.
2. Van Oss C. J. Additive and nonadditive surface tension components and the interpretation of contact angles / C. J. Van Oss, R. J. Good., M. K. Chaudhury. // Langmuir. - 1988. - № 4. - P. 884 - 891.
3. Van Oss C. J., Good R. J. Estimation of the polar surface tension parameters of glycerol and formamide, for use in contact angle

- measurements on polar solids / C. J. Van Oss, R. J. Good R. J. // J. Dispersion Science and technology. - 1990. - №11. - P. 75 – 81.
4. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание – М.: Химия, 1974. - 414 с.
 5. Zaichenko N. Composite material based on the polyethylene terephthalate polymer and modified fly ash filler [Электронный ресурс] / N. Zaichenko, V. Nefedov // International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018): MATEC Web of Conferences. 2018, Vol. 245, 03007 – URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824503007>
 6. Сычев М.М., Минакова Т.С., Слизов Ю.Г., Шилова О.А. Кислотно-основные характеристики поверхности твердых тел и управление свойствами материалов и композитов. – СПб.: Химиздат, 2016. – 276 с.

К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ СОСТАВА МНОГОФАЗОВЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Клименко В.Г., канд. техн. наук, доцент
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. В статье представлены результаты многолетних исследований автора в области многофазовых гипсовых вяжущих и материалов на их основе. Выделены и проанализированы основные факторы и параметры, влияющие на свойства вяжущих, сформулированы критерии подбора составов многофазовых гипсовых вяжущих. Предложены составы и области применения композиций с дисперсными наполнителями.

Ключевые слова: строительный гипс, ангидрит, многофазовые гипсовые вяжущие, отходы стеклобоя, железорудный концентрат.

Отличительной особенностью современного уровня развития общества является широкое использование композиционных материалов, имеющих неоспоримые преимущества перед обычными материалами. Стройиндустрия в этом плане не является исключением. Обществу требуются экологически чистые, комфортные для проживания, эстетически привлекательные материалы с улучшенными физико-механическими и санитарно-гигиеническими характеристиками. Примером таких материалов могут служить сухие гипсовые строительные смеси, использование которых как в России, так и в зарубежных странах имеет постоянную тенденцию к расширению.

Для дальнейшего наращивания объемов применения сухих гипсовых смесей в нашей стране значительный практический интерес представляет расширение их номенклатуры, в том числе за счет использования в составах нерастворимого ангидрита, и получения вяжущих с изменяющимся фазовым составом. При производстве сухих строительных смесей отечественные производители не используют высокообжиговые модификации гипса.

Несмотря на кажущуюся простоту гипсовых систем химизм процессов, протекающих при гидратации и твердении композиционных материалах на основе сульфата кальция, выяснен не до конца. Есть вопросы по роли двойных и комплексных солей в технологии получения гипсовых вяжущих веществ, роли различных фаз сульфата кальция в гипсоангидритовых системах, влиянии структурно-фазовых переходов термообработанных активаторов на прочность

нерастворимого ангидрита, роли ультра - и нанодисперсных добавок на структурно-тектурные характеристики композиционных гипсосодержащих материалов. Кроме того, сведения о взаимном влиянии различных фаз сульфата кальция на свойства вяжущих веществ часто противоречивы и не систематизированы, отсутствуют критерии проектирования составов таких вяжущих, что затрудняет их производство. Все это и определяет актуальность работ по обобщению и систематизации сведений о получении отечественных ангидритосодержащих многофазовых гипсовых вяжущих и сухих строительных смесей на их основе, разработке теоретических положений проектирования составов таких материалов чему и посвящена данная работа.

В качестве исходных материалов исследованы природный и синтетический гипс, термический нерастворимый ангидрит ($\text{CaSO}_4\cdot\text{II}$), строительный гипс ($\beta\text{-CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), многофазовые гипсовые вяжущие (МГВ), железорудный концентрат Лебединского ГОКа (ЖК), отходы флинтв (К-СТБ) и тарного стеклобоя (Na-СТБ).

При проектировании составов композиционных ангидритсодержащих материалов необходимо рассматривать их как многофазную, взаимосвязанную и взаимозависимую систему, состоящую из таких компонентов как: $\text{CaSO}_4\cdot\text{II}$, гипс ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), $\text{CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4\cdot\text{III}$, супер- и гиперпластификаторы, нано- и ультрадисперсные добавки и вода (см. рис). Состояние этой системы будет зависеть как от свойств отдельных компонентов, так и от их взаимного влияния – явлений синергизма и антагонизма.

Основной компонент многофазовых и ангидритовых вяжущих – это минерал $\text{CaSO}_4\cdot\text{II}$. Его свойства во многом определяются условиями получения. При дегидратации в структуре гипса образуются электродонорные и электроакцепторные центры за счет свободных орбиталей ионов Ca^{2+} и неподеленных электронных пар SO_4^{2-} групп. В зависимости от соотношения этих центров поверхность сульфата кальция может проявлять кислотные, основные или амфотерные свойства [1]. $\text{CaSO}_4\cdot\text{II}$, полученный из природного гипсового сырья, имеет щелочную реакцию среды, а из техногенного гипса х.ч. – нейтральную.

Добавки $\text{CaSO}_4\cdot\text{II}$ в различные формы сульфата кальция улучшают их физико-механические характеристики, увеличивают сроки схватывания, понижают В/Г, часть $\text{CaSO}_4\cdot\text{II}$ выступает в качестве активного наполнителя и центров кристаллизации гипса. Характер влияния $\text{CaSO}_4\cdot\text{II}$ на продукты термообработки гипса зависит от

генезиса гипсового сырья, количества остаточной гидратной воды, природы и количества примесей, фазового состава сульфата кальция, свойств CaSO_4 II. При проектировании МГВ необходимо в смеси с CaSO_4 II использовать β – CaSO_4 III или β – обезвоженный полугидрат сульфата кальция, а не β – $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ [2].

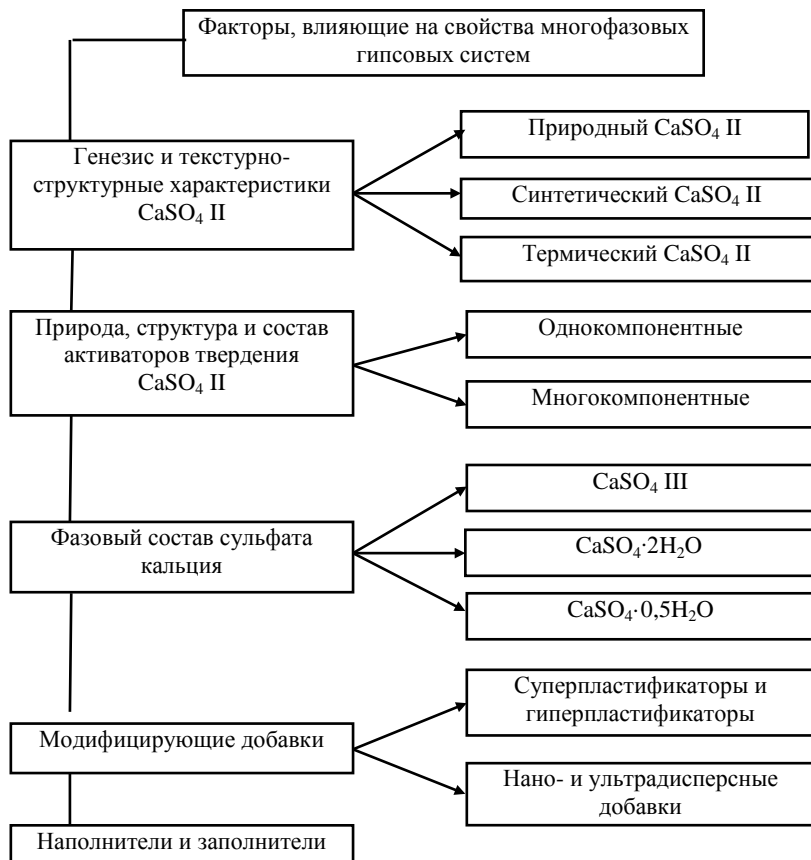


Рисунок - Основные факторы, влияющие на свойства многофазовых гипсовых систем

Определяющим параметром, влияющим на гидратацию CaSO_4 II, является кислотно-основной баланс среды. При этом добавки,

создающие кислую среду, должны содержать избыток ионов SO_4^{2-} , а добавки, создающие щелочную среду – избыток ионов Ca^{+2} . Такие условия способствуют ускорению процесса растворения и гидратации $\text{CaSO}_4 \text{ II}$. Установлено, что pH жидкости затворения по-разному влияет на механическую прочность гипсовых вяжущих [3]. Для высокообжиговых гипсовых вяжущих это влияние более выражено, чем для низкообжиговых. Исследования, проведенные нами на различных гипсовых вяжущих, показывают, что механическая прочность зависит от активности воды затворения и вида вяжущего. Причем эта зависимость имеет явно выраженные экстремумы. В кислой среде оптимальным является pH жидкости затворения 4,0-6,0, а в щелочной - 9,0-10,0. Значительное падение прочности наблюдается при величине pH воды затворения меньше 3 и больше 11. При этом прочность вяжущих, затворенных кислыми растворами выше, чем прочность вяжущих, затворенных щелочными растворами.

Особую роль в технологии композиционных и многофазовых гипсовых вяжущих играют двойные и комплексные соли. С одной стороны, они выступают как многокомпонентные активаторы твердения $\text{CaSO}_4 \text{ II}$, ускоряющие его гидратацию и структурообразование. С другой стороны – двойные соли выступают как коагулирующий агент поровой структуры, снижающий образование высолов на поверхности строительных материалов. Не все двойные соли образуются в гипсоангидритовых системах. Сингенит и коктаит образуются легче, а глауберит и гидроглауберит – тяжелее. На образование двойных солей существенное влияние оказывает форма сульфата кальция и внешние параметры.

Не менее важной составляющей частью вяжущего являются активаторы твердения ангидрита, нано - и ультрадисперсные добавки, влияющие на текстурно-структурные характеристики материала. И, наконец, вода. Она выступает и как среда, и как реагент.

Комплексное действие различных факторов на ангидритовые системы заключается во взаимосвязи и взаимодействии основных компонентов и процессов, протекающих в твердеющей системе. Так скорость растворения $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$ зависит от растворимости фаз сульфата кальция, диффузионного и кинетического сопротивления процесса растворения. На скорость кристаллизации $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ влияет степень пересыщения и величина пересыщения, которые, в свою очередь, влияют на процесс образования зародышей кристаллизации, форму и линейные размеры кристаллов.

Рассматривая влияние нано - и ультрадисперсных добавок на свойства гипсовых вяжущих, нужно иметь в виду, что механизм действия добавок во многом зависит от их гранулометрии. Для крупнодисперсных составов решающую роль имеет создание оптимальной упаковки структуры материала [4]. Для тонкодисперсных составов определяющим фактором является состав образующихся при растворении в воде продуктов. В основном это продукты кислотно-основного взаимодействия составляющих частей добавок и сульфата кальция (сингенит, гидроглауберит, коктаит и др.).

При проектировании комбинированных и многофазовых вяжущих необходимо добиваться кристаллизационного механизма гидратации сульфата кальция, а не твердофазной гидратации, которая не дает плотной структуры камня. Различия в микроструктуре вяжущих определяются различными механизмами гидратации вяжущих. А все это вместе отражается на физико-механических характеристиках композиционных материалов. Используя МГВ вместо монофазовых вяжущих и микронаполнители можно оптимизировать структуру композиционных материалов [5, 6].

Разработанные теоретические положения были использованы при подборе составов многокомпонентных гипсовых вяжущих и композиционных материалов на их основе.

Список литературы:

1. Клименко В.Г. Многофазовые гипсовые вяжущие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 198 с.
2. Клименко В.Г. Активаторы твердения ангидрита на основе продуктов термообработки гипса // Известия вузов. Строительство. 2011. № 4. С. 21 – 28.
3. Klimenko V.G., Pavlenko V.I., Gasanov S.K. The Role of pH Medium in Forming Binding Substances on Base of Calcium Sulphate // Middle-East Journal of Scientific Research. 2013 – 17(8). С. 1169 – 1175. ISSN 1990-9233.
4. Лесовик В.С., Чернышева Н.В., Клименко В.Г. Процессы структурообразования гипсосодержащих композитов с учетом генезиса сырья // Известия вузов. Строительство. 2012. № 4. С. 3 – 11.
5. Klimenko V.G., Kashin G.A., Prikaznova T.A. Plaster-based magnetite composite materials in construction // IOP Conf. Series Materials Science and 327 (2018) 032029 doi:10.1088/1757-899X/327/3/032029.
6. Клименко В.Г., Павленко В.И., Гасанов С.К. Модифицирование многофазовых гипсовых вяжущих отходами тарного стеклобоя // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2014. № 3. С. 35 – 39.

МУЛЛИТСОДЕРЖАЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО КРЕМНЕЗЕМА

Косенко Н.Ф., д-р техн. наук, профессор,
Филатова Н.В., канд. хим. наук, доцент,
Пимков Ю.В., канд. хим. наук
*Ивановский государственный
химико-технологический университет*

Аннотация. Изучены композиционные материалы, состоящие из диатомита /микрокремнезема и муллитообразующей связки, которые получали обжигом при 1200 °С. Синтезированные материалы характеризуются высокой прочностью за счет образования муллита и достаточной пористостью, поэтому могут стать основой композитов теплоизоляционно-конструкционного назначения.

Ключевые слова: диатомит, микрокремнезем, муллитообразующая связка, композиты.

Высокоактивные вещества кремнеземистого состава с развитой поверхностью способны формировать прочный искусственный камень с низкой плотностью. В целях установления возможности синтеза материалов теплоизоляционного /теплоизоляционно-конструкционного назначения были изучены диатомит (удельная поверхность 2550 м²/кг) и микрокремнезем (752 м²/кг) в сочетании муллитообразующей связкой (МОС). Связку в виде суспензии получали осаждением карбамидом из растворов солей Na₂SiO₃ и AlCl₃ [1].

Было установлено, что получаемые композиты имеют высокую прочность и значительную пористость (табл. 1, рис. 1-2).

Таблица 1 - Свойства композиционных материалов из активного кремнезема и МОС после обжига при 1200 °С (2 ч)

Содержание связки, %	Прочность при сжатии, МПа	Потеря при прокаливании, %	Огневая усадка, %	Пористость, %
Диатомит				
10-50	65-95	17-23	15-16	26-33
Микрокремнезем				
10-50	40-60	11-19	4-5	30-40

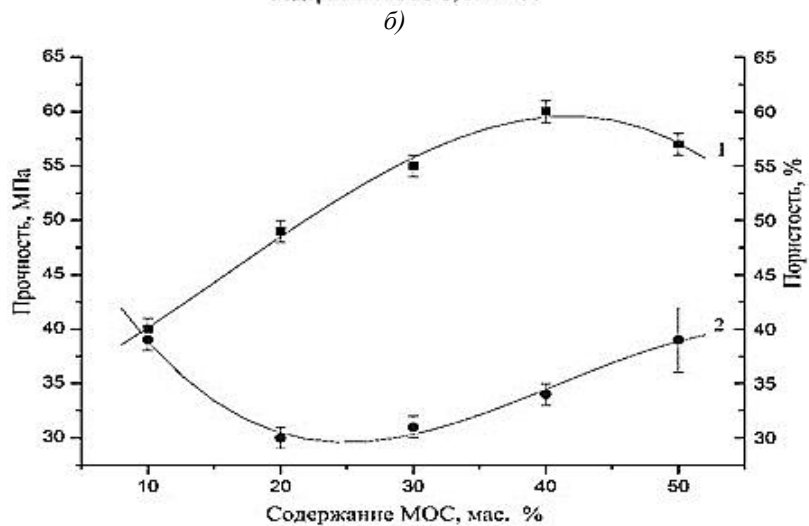
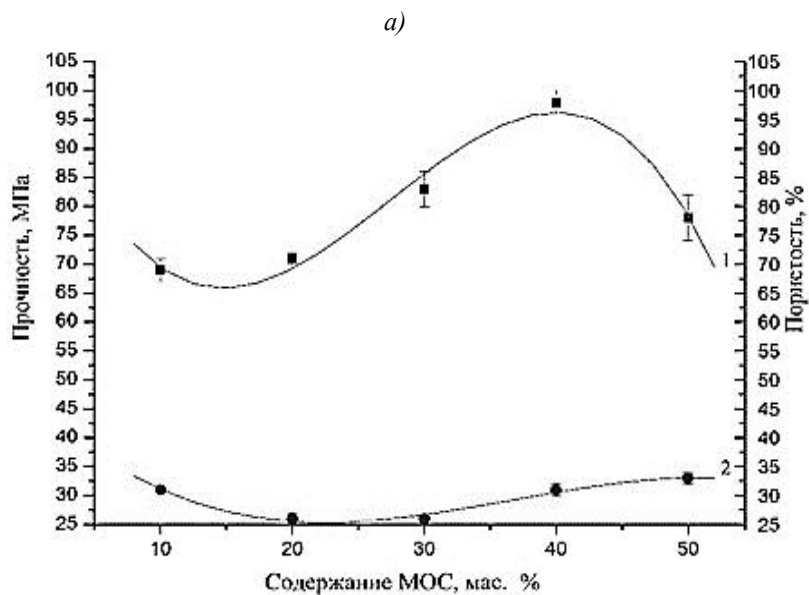


Рисунок 1- Прочность при сжатии (1) и открытая пористость (2) материала на основе диатомита (а) и микрокремнезема (б) и МОС после термообработки (1200 °С)

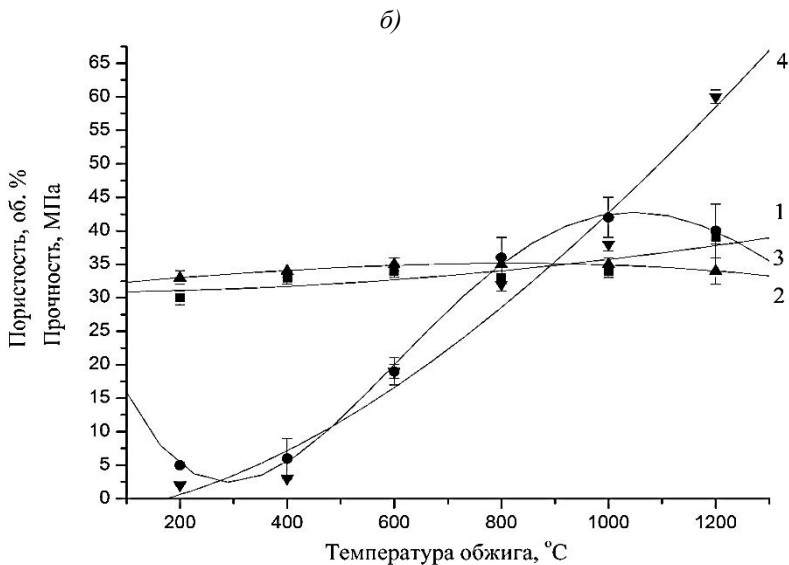
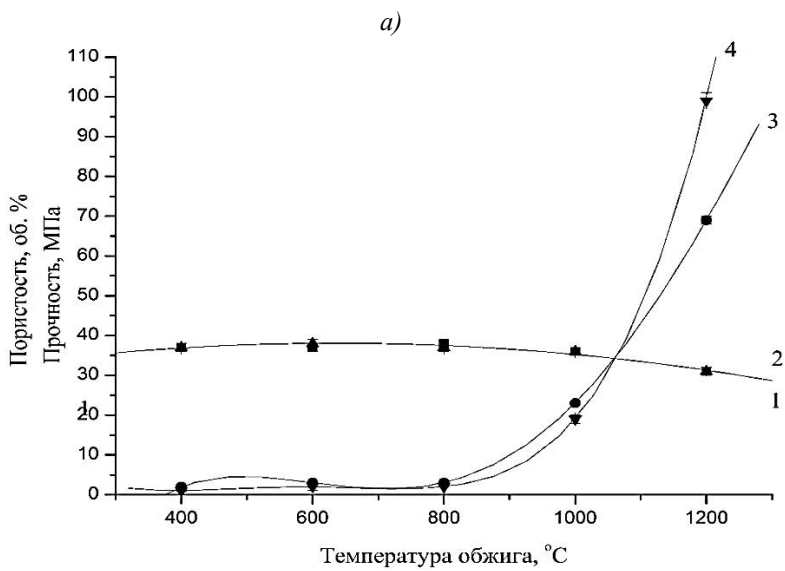


Рисунок 2 - Открытая пористость (1, 2) и прочность при сжатии (3, 4) материалов на основе диатомита (а), микрокремнезема (б) и МОС. Содержание МОС, %: 1, 3 – 10; 2, 4 – 40

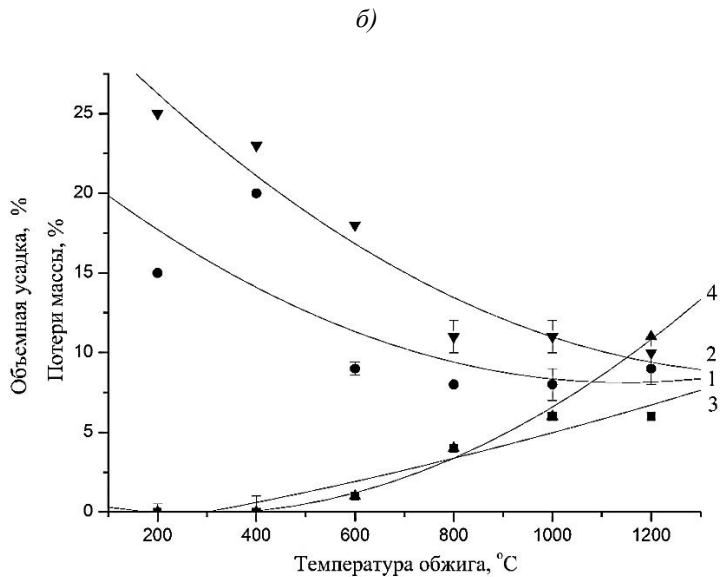
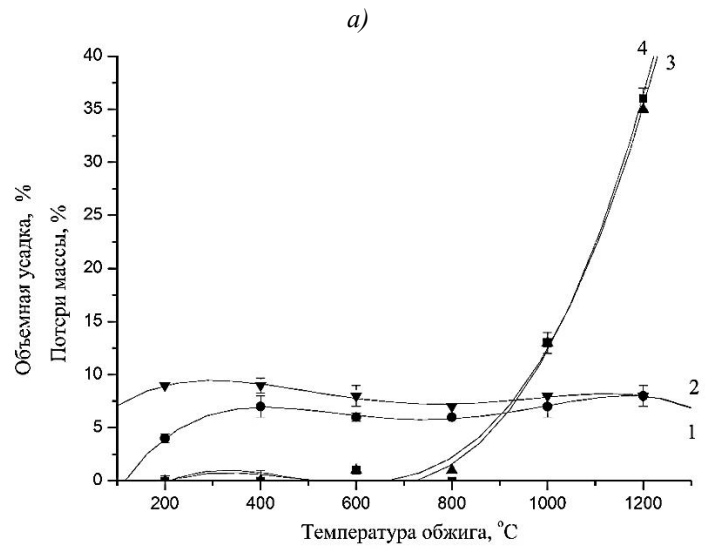


Рисунок 3 - Потери массы при прокаливании (1, 2) и объемная усадка (3, 4) материалов на основе диатомита (а), микрокремнезема (б) и МОС. Содержание МОС, %: 1, 3 – 10; 2, 4 – 40

Высокая прочность полученных материалов связана с присутствием активных компонентов кремнеземистого и глиноземистого состава в связующем, которые в процессе обжига формируют фазу муллита. Кроме того, алюмооксидный компонент, находясь в жидкой фазе, легко проникает в объем наполнителя на основе SiO_2 и вступает во взаимодействие с последним. В процессе последующей термообработки образуются кристаллики муллита. Таким образом, муллитовая матрица формируется не только на границе зерен, но и в порах и микротрещинах, что придает большую связанность и прочность конгломерату. То, что прочность обусловлена появлением муллита, подтверждается рентгенофазным анализом и упрочнением материалов при температурах 900°C и выше (рис. 2).

Высокие прочностные характеристики композитов можно получить в широких пределах содержания суспензии (рис. 1). Минимальная пористость материалов соответствует количеству МОС в пределах 20-40 %. Большая доля матрицы приводит к появлению заметных усадочных трещин, а значит, к увеличению открытой пористости и снижению прочности.

Слабая зависимость свойств материалов на основе диатомита от содержания МОС (рис. 2, 3, а), по-видимому, связано с высокой адсорбционной способностью наполнителя. Некоторые различия характерны для величин потери массы при прокаливании в области низких температур (рис. 3, а, кривые 1, 2), обусловленные испарением части влаги, введенной с суспензией. Большое содержание муллитообразующих компонентов способствует появлению дополнительного количества муллита, а значит, и приросту прочности при высоких температурах (рис. 2, а, кривые 3, 4).

Микрокремнезем состоит из оплавленных сфероидальных частиц, для которых характерна низкая адсорбционная способность, поэтому для материалов на основе микрокремнезема различия более выражены (рис. 2, 3, б).

Синтезированные материалы характеризуются высокой прочностью и достаточной пористостью, поэтому могут стать основой композитов теплоизоляционно-конструкционного назначения.

Список литературы:

1. Косенко, Н.Ф. Синтез и физико-химическое исследование муллитообразующей суспензии / Н.Ф. Косенко, Ю.В. Пимков, Н.В. Филатова // Изв. вузов. Химия и хим. технол. 2015. Т. 58. № 12. С.32-34.

ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

**Кочерженко А.В., аспирант,
Марушко М.В., аспирант,
Рябчевский И.С., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. В настоящее время в России все большее значение уделяется актуальным вопросам энергосбережения и энергетической эффективности при строительстве жилых и общественных зданий. Действующие нормативно-правовые акты требуют решения вопросов, связанных с повышением энергоэффективности зданий. Одним из направлений решения поставленных задач является разработка и изготовление новых видов теплоизоляционных материалов. В работе рассмотрены и проанализированы свойства, преимущества пенополиуретана, его недостатки и способы повышения эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: пенополиуретан, теплоизоляционный материал, энергосбережение, энергоэффективность, теплопроводность, горючесть, эксплуатационные свойства

В России представлен большой выбор теплоизоляционных материалов. Выбор материала для теплоизоляции определяется назначением объекта капитального строительства, целесообразностью способа его защиты при проведении реконструкционных работ или капитальном ремонте, технологичностью и доступностью материала. Основным критерием выбора является соответствие долговечности теплоизолирующего и основного строительного материала.

Нормативные и технические требования к теплоизоляционным материалам, применяемым в стране, регламентируют следующие их свойства: негорючесть, низкая теплопроводность, эффективные водоотталкивающие свойства, надежность и долговечность в различных условиях эксплуатации и другие [1...3].

Современные строительные теплоизоляционные материалы и системы используются в утеплении несущих и ограждающих конструкций, фасадов, кровель, изоляции элементов инженерных систем и других. Требования к физико-техническим характеристикам изолирующих материалов и могут значительно различаться в связи с условиями эксплуатации конструкций. Сравнительные характеристики

плотности и теплопроводности используемых материалов представлены на рис.

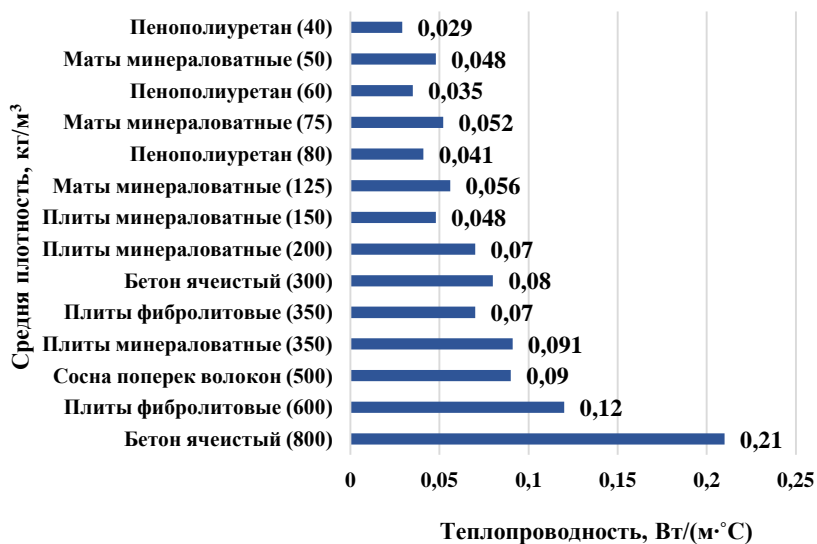


Рисунок - Теплопроводность материалов в зависимости от их вида и средней плотности

Среди обширного ассортимента теплоизоляционных материалов жесткие пенополиуретаны (ППУ) является наиболее высокоэффективным теплоизоляционным материалом с уникальным комплексом физико-механических свойств (см. рис. и табл. 1).

Одним из наиболее важных достоинств ППУ является одностадийный процесс получения изделий из данного материала методом напыления или заливки. Вспенивание и, в последующем, его отвердевание происходит без дополнительного подогрева в результате экзотермической реакции синтеза, которая протекает при смешении двух, трех или четырех жидких компонентов при его одновременном сцеплением с облицовочным материалом [4].

Пенополиуретан имеет хорошую адгезию ко многим материалам, в том числе к алюминию, стали, бетону, кирпичу, гипсоволокнистым плитам и некоторым пластикам [5].

Но главным недостатком полимерных теплоизоляционных материалов является пожароопасность, сравнительно низкая

огнестойкость. Пенополистиролы и пенополиуретаны изменяют свою структуру при воздействии температур, превышающих 50 °С, и теряют сопротивление теплопередачи. При пожаре способствуют распространению пламени и разрушению конструкции, что ограничивает область их применения и требует принятия специальных технических решений, обеспечивающих пожаробезопасность [6...8].

Таблица 1 - Физико-механические свойства пенополиуретана

Показатель	Значение
Плотность, кг/м ³	30...80
Предел прочности, МПа:	
на сжатие	0,1...0,7
на изгиб	0,15...1,0
на растяжение	0,1...0,6
Водопоглощение, %	
в течение 24 час при полном погружении	1...3
в течение 7 час при кипячении	4...10
Влагопоглощение, %	0,05...0,3
Коэффициент паропроницаемости, мг/м·час·Па	30...100
Группа горючести по ГОСТ 30244-94	Г4
Группа воспламеняемости по ГОСТ 30402-96	В2, В3
Группа по распространению пламени по ГОСТ 30444-97	РП2, РП3
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,018...0,03

Для повышения эксплуатационных свойств пенополиуретана, в частности уменьшения горючести, проведены исследования по применению принципов физической модификации за счет введения наполнителя. Физико-механические характеристики пенополиуретанов определяются как параметрами, характеризующими ячеистую структуру, так и механическими свойствами полимерной матрицы [9, 10].

В ходе исследований были обоснованы для применения наиболее распространенные в Белгородской области и экономически целесообразные промышленные отходы в виде хвостов из хвостохранилищ Стойленского и Лебединского ГОКов [11...13].

Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004-89 и результаты, полученные в ходе проведения исследований, представлены в табл. 2.

Исследования показали, что введение техногенного сырья в качестве наполнителя в пенополиуретане позволяет уменьшить горючесть утеплителя. При этом наиболее оптимальные результаты

достигаются при концентрации хвостов в утеплителе в пределах 35...50 %.

Таблица 2 - Результаты испытаний образцов на установке ОТМ

№ п/п	Содержание наполнителя масс, %	Температура реакционной камеры до введения образца, °С	Максимальная температура газообразных продуктов горения, °С	Время достижения максимальной температуры, °С	Масса образца, г		Потери массы образца, %
					до испытания	после испытания	
1	0	200	645	20	6,55	1,07	83,5
2	20	200	631	25	8,12	2,85	65,3
3	30	200	610	30	10,50	4,75	54,7
4	40	200	567	27	12,36	6,08	50,1
5	50	200	502	23	15,03	7,91	47,3

Анализ современных теплоизоляционных материалов позволил сделать вывод о том, что наиболее эффективным теплоизоляционным материалом является пенополиуретановый утеплитель, поскольку он имеет малую теплопроводность и водопоглощение, отличается гигроскопичностью, термической стойкостью, легкостью, химической стойкостью, меньшей горючестью при введении техногенного сырья в качестве наполнителя, а также широкой областью применения. Однако, необходимо помнить, что процесс окончательного выбора того или иного материала должен быть неразрывно связан с его эксплуатационными характеристиками.

Список литературы:

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изм. и доп., вступ. в силу с 16.01.2019): Федеральный закон от 23.11.2009 №261-ФЗ (ред. от 27.12.2018) // Собрание законодательства РФ, 30.11.2009, №48, ст. 5711.
2. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий / Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 // Официальное издание. - М.: Минрегион России, 2012. 94 с.
3. Глаголев Е.С., Сулейманова Л.А., Марушко М.В. Нормативно-правовое регулирование жилищного строительства в России // В сборнике докладов Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в строительстве» (к 45-летию

- кафедры строительства и городского хозяйства. – Белгород. 2017. С. 196-205.
4. Зарубина Л. П. Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии. 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 416 с.
 5. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 9-16.
 6. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Снижение горючести полимерных материалов // Новое в жизни, науке и технике. Сер. «Химия» М.: Знание, 1981. №10. 64 с.
 7. Кодолов В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов. М.: Химия. 1976. 160с.
 8. Романенков И.Г., Зигерн-Корн В.Н. Огнестойкость строительных материалов из эффективных материалов. М. Стройиздат, 1984. 240с.
 9. Кац Г.С., Милевски Д.В. Наполнители для полимерных композиционных материалов: Справочное пособие / Пер. с англ. под редакцией П.Г. Бабаевского.-М.: Химия, 1981. 736 с.
 10. Корсаков В.Г. Физико-химическая аттестация наполнителей и прогнозирование свойств наполненных полимеров / В.Г. Корсаков, И.К. Ярцев, В.М. Барановский, А.В. Черенков, Л.И. Девкина, Э.М. Макаровская, И.А. Мезенцева, М.Н. Цветкова // Пластические массы. 1980. № 12. С. 29-31.
 11. Сулейманова Л.А., Кочерженко А.В., Марушко М.В. Теплоизоляционный композит на основе местных неорганических наполнителей // В сборнике докладов Международной научно-практической конференции «Наукоёмкие технологии и инновации». – Белгород, 2016. С. 185-189.
 12. Сулейманова Л.А., Кочерженко А.В. Исследование влияния природных наполнителей на кратность вспенивания утеплителей на основе пенополиуретана // В сборнике докладов Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в строительстве» (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства). – Белгород, 2017. С. 185-190.
 13. Сулейманова Л.А., Кочерженко А.В., Апанасенко И.А. Влияние наполнителей из техногенного сырья Белгородской области на горючесть утеплителя на основе пенополиуретана // В сборнике докладов Международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова) «Наука и инновации в строительстве». – Белгород, 2018. С. 418-422.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ДЕГРАДАЦИИ НИХРОМОВЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРРОЗИИ

Лазарева Е.А., канд. техн. наук, доцент

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова

Аннотация. Представлены результаты использования изделий из нихромовых сплавов в условиях высоких температур в промышленности. Приведены результаты анализа исследований в области разработки составов и способов нанесения высокотемпературных покрытий для защиты различных металлов и сплавов. Обозначена актуальность разработок жаростойких ситалловых покрытий для защиты нихромовых сплавов.

Ключевые слова: ситалловые покрытия, нихромовые сплавы, высокотемпературная защита от коррозии, детали эмальобжиговых печей, механизм деградации.

Как известно, развитие науки и техники связано с использованием высоких температур. В связи с этим важнейшей научно-технической задачей является создание эффективной защиты для различных металлов от высокотемпературной газовой коррозии [1,2,3]. Выявлено, что значительная часть промышленных процессов протекают в агрессивной среде и при высоких температурах, высоком давлении, больших нагрузках на отдельные компоненты в присутствии окислительной и коррозионной атмосферы. Так, температура газовых потоков в условиях применения различных сплавов находится в пределах 850- 1650°C. Такие условия рабочих процессов выдерживают материалы, обладающие устойчивостью к воздействию высокой температуры в условиях нагрузки. В ходе эксплуатации структурные материалы отдельных компонентов деградируют. В дополнение к усталостным повреждениям материалы подвергаются окислению, коррозионному воздействию. Как известно, в высокотемпературных процессах материалы подвергаются воздействию не только кислорода, а также других составляющих агрессивных сред в форме газов CO₂ и SO₂, расплавленных солей щелочных и щёлочноземельных сульфатов, хлоридов и твёрдых частиц в форме песка или сажи. Некоторые из этих составляющих являются отходами технологических процессов, другие поступают из внешней среды. Воздействие агрессивных факторов на поверхность металлов приводит к коррозии и эрозии, которые в свою

очередь, содействует уничтожению защитной оксидной плёнки. Коррозия материалов, вызванная расплавленными солями в окислительной газовой среде при высоких температурах, определена как высокотемпературная коррозия. Это результат ускоренного окисления при температурах от 700°C до 950°C, когда сплав покрывается плёнкой загрязняющих солей. В парообразном состоянии соли не агрессивны. Температурный диапазон, в котором происходит высокотемпературная коррозия, сильно зависит от химии солей и газов, а также от состава сплава и состояния его поверхностного слоя. Суммарное воздействие среды приводит к образованию твёрдых и расплавленных солей, оказывающих основное коррозионное воздействие [1, 2].

Подобные процессы происходят также с нихромовыми сплавами и изделиями из них, которые успешно используются во многих отраслях отечественной промышленности. К числу таких отраслей относится производство эмалированной посуды, где нихромовые сплавы применяются для нагревательных элементов лабораторных и электрических печей, а также в качестве обжигового инструмента. В соответствии с этим нихром должен обладать целым комплексом эксплуатационно-технических свойств, таких, как : термостойкость при смене температур, жаростойкость, постоянство формы изделий, технологичность при сварке и др. [3]. Как правило, для этих целей в настоящее время наиболее часто применяют нихромовые сплавы марок Х20Н80 и ХН78, а также изделия из них (рис.1).

При эксплуатации нихромов на предприятиях по выпуску эмалированной посуды обжиг изделий обычно проводится при 850 – 930 °С, атмосфера в печи, как правило, окислительная. Наибольшей агрессивностью по отношению к нихромовым электронагревателям и обжиговому инструменту обладают некоторые элементы шликера, легко проникающие при испарении в защитный слой окалины, в том числе различные соли, например, соединения кадмия. Вследствие этого происходит снижение ресурса работы изделий из нихромового сплава на 30 – 50 % [3]. Наглядно результаты деградации нихромовых сплавов вследствие их эксплуатации в условиях высоких температур представлены на рис.2. Опасность деградации нихромовых сплавов заключается в разрушении и, как следствие, потере дефицитного дорогостоящего сплава - до 10% нихрома уходит в брак только в виде окалины из-за окисления металла при высокотемпературном (до 1000 °С) нагреве. Из-за высокой стоимости и ограниченного производства сплавов указанных марок, как правило, предприятия

вынуждены либо продолжать эксплуатацию изношенных изделий из нихромовых сплавов сверх положенного ресурса, что, как следствие, приводит к увеличению числа бракованных изделий; либо заменять детали деградированного обжигowego инструмента. Последнее предопределяет увеличение стоимости производимой продукции. В итоге при выборе любого из указанных мероприятий конкурентоспособность отечественных эмалированных изделий становится ниже зарубежных аналогов



Рисунок 1 – Изделия из нихромовых сплавов для промышленности

Солнцевым С.С., Зубехиным А.П., Горбатенко В.Е., Ратьковой В.П. и др. [1,4,5] доказано, что в качестве эффективной защиты нихромов целесообразно применять стеклокристаллические (ситалловые) покрытия.



Рисунок 2 – Результаты деградации нихромовых изделий в условиях высоких температур

Ситалловые покрытия выгодно отличаются, в частности, от эмалевых покрытий способностью формироваться при температурах, незначительно ниже температуры их эксплуатации, что значительно снижает вероятность окисления нихромового субстрата в процессе формирования покрытия. Задачу синтеза указанных покрытий решали многие исследователи [1,4,5], используя как систематическое изучение стеклообразных систем и получение на их основе стекол и ситаллов, пригодных в качестве стекломатриц жаростойких покрытий, так и совершенствование уже существующих покрытий. Особая роль в науке и практике разработки жаростойких покрытий ситаллового типа принадлежит С.С. Солнцеву с соавторами [1]. Полученные покрытия отличаются их способностью к кристаллизации в процессе формирования и эксплуатации с выделением тугоплавких кристаллических фаз. Объемная микрокристаллизация и равномерное распределение мелкодисперсной кристаллической фазы обеспечивает улучшение эксплуатационных характеристик защитных слоев – уменьшается газопроницаемость, повышается плотность покрытий.

Выявлено[1], что при получении ситалловых покрытий, как правило, используется та же технология, что и при эмалировании: приготовление шихты → варка стекла → помол стекла → приготовление шликера → нанесение шликера на металл → сушка → обжиг покрытия. Однако, эта схема несколько видоизменяется и дополняется на заключительной стадии, поскольку полученное из соответствующего стекла (фритты) покрытие должно быть превращено в ситалл путём направленной кристаллизации.

А. П. Зубехиным с соавторами для защиты электронагревателей и деталей обжигового инструмента от высокотемпературной коррозии получены жаростойкие ситалловые покрытия [4,5]. При их разработке стекломатрицы были получены на основе кордиеритовой системы $MgO-Al_2O_3-SiO_2$. С целью снижения температуры синтеза стекломатриц ситалловых покрытий с требуемыми показателями физико-химических и технологических свойств в их составы вводили оксиды-модификаторы. В процессе исследований было установлено, что разработка жаростойких ситалловых покрытий с использованием вторичных продуктов производства представляет собой особый научный и практический интерес. Проведённые испытания покрытий позволили подтвердить их эффективность в качестве защиты для нихромов в условиях высокотемпературной производственной среды[4,5]. Очевидно, что разработка ситалловых покрытий, предназначенных для решения проблемы деградации нихромовых сплавов, является актуальным научно-практическим направлением. Для эффективного и полноценного решения проблемы деградации нихромовых сплавов и изделий из них от высокотемпературной газовой коррозии необходимо продолжение физико-химических исследований по созданию и изучению новых составов, структуры и свойств ситалловых покрытий с использованием технического, природного и техногенного сырья.

Список литературы:

1. Солнцев С.С. Защитные технологические покрытия и тугоплавкие эмали. - М.: Машиностроение, 1984.-256 с.
2. Петцольд А., Пешманн Г. Эмаль и эмалирование: Справочник/ Пер. с нем.-М.: Металлургия, 1990.- 576 с.
3. Прецизионный сплав нихром: от упаковки до электропечей [Электронный ресурс]. Innovanews.ru: независимое интернет-сми. URL: <http://www.innovanews.ru/info/news/hightech/9367/>
4. Лазарева Е.А., Минько Н.И. Защита изделий из нихромовых сплавов от высокотемпературной коррозии (обзор) = Protection of Nichrome-

- Alloy Articles from High-Temperature Corrosion (Review) //Стекло и керамика. - 2018. - № 6. - С. 19-23 [Glass and Ceramics (English translation of Steklo i Keramika). - 2018. - Vol. 75, Is. 5-6. - P. 226-229]
5. Лазарева Е.А. Критерии выбора стекломатриц жаростойких ситалловых покрытий для изделий из нихромовых сплавов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. - 2018. - № 3. - С. 140-146.

ВИДЫ ДЕКОРАТИВНО-ОТДЕЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДИЗАЙНА АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА

Лазарева Е.А., канд. техн. наук, доцент,
Садчикова И. Н.,
Тышлангян Ю.С.,
Лазарева Г.Ю.,

*Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова*

Аннотация. Рассмотрены основные виды декоративно-отделочных материалов, как классических и испытанных временем, так и новейших, разработанных с учётом научного прогресса, позволяющих расширить диапазон для творческой работы дизайнеров и мастеров по интерьерам. Представлены результаты научных исследований по вопросам разработки декоративно-отделочных материалов на основе стеклобоя и их применению в архитектурно-строительном дизайне.

Ключевые слова: дизайн; отделочные материалы; декоративные материалы; архитектурная среда; строительство, стеклобой, красители.

В основе дизайна интерьера лежит синтез прагматических и художественных идей и решений, направленных на улучшение условий существования человека в целостной эстетически совершенной форме. Как известно [1,2,3], материалы, которые предназначены для украшения различных поверхностей в помещении, называются отделочными материалами, они также весьма успешно применяются для архитектурно-строительного дизайна. С точки зрения оформления существует довольно большой выбор материалов для интерьера и отделки помещений. Подбор материала зависит от дизайнерской идеи оформления, от типа и размера помещения.

Благодаря новым технологиям на рынке появляются удивительные, а порой и забавные, комбинации материалов. В продаже можно найти неожиданные формы давно знакомого нам стекла, камня или дерева, удивительные краски, обои и послушный, готовый к употреблению пластик. Для них находят и новые сферы применения: так, недавно начался выпуск напольных обоев; кожа, ранее использовавшаяся в мебельном производстве, сейчас применяется и для отделки стен. На рынке появляются инновационные отделочные материалы. Несмотря на это, решения, апробированные годами, до сих пор не утратили своей актуальности.

В соответствии с эксплуатационными условиями отделочные материалы подразделяются на наружные и внутренние. Наружные модификации предназначены для обустройства экстерьера строительных объектов. К широкому перечню данных средств предъявляются такие требования как устойчивость к негативным воздействиям факторов внешней среды, прочность и долговечность. Внутренние модификации используются при отделке интерьеров. Поэтому наиболее строгие требования предъявляются к эстетике готового результата.

Исходя из компонентов, применённых при производстве, различаются искусственные и натуральные отделочные материалы. Натуральные материалы относятся к категории экологически чистых и безопасных изделий.

Среди ненатуральных материалов встречаются как экологически безопасные, так и токсичные изделия. Впрочем, по причине строгих требований международной стандартизации, потенциально небезопасных материалов становится все меньше.

По назначению отделочные материалы эксклюзивные и традиционные подразделяются на:

- декоративные – могут представлять собой тонкие рулонные материалы (обои, линолеум, ковролин и т.д.), плиты малой толщины (декоративный камень, керамика, керамогранит и т.д.) и составы, предназначенные для нанесения на поверхность (декоративная штукатурка, лакокрасочные материалы).

- конструкционно-отделочные – служат не только декоративным решением, но и конструктивными элементами (блоки из стекла, лицевой кирпич, декоративный бетон и т. д.).

- специально-отделочные – предназначены для выполнения определённых функций (теплоизоляция, шумоизоляция).

В соответствии с консистенцией отделочные материалы могут быть:

- жидкими – смеси на основе связующих и декоративных компонентов (наливные полы, лакокрасочные составы и т. д.);

- штучными – небольшие изделия (керамическая плитка, паркетная доска и т.д.);

- сборными элементами — плиты и листы, монтаж которых выполняется с использованием саморезов гвоздей заклепок клея и т.д. [3].

Из-за небывалого разнообразия материалов, имеющихся на рынке в настоящее время, невозможно подробно описать их все, хотя бы

потому, что чуть ли не каждый день появляются новые материалы, методы их обработки и применения.

Рассмотрим некоторые виды декоративно-отделочных материалов, применяемых в дизайне архитектурной среды и строительстве. Наиболее распространённым и простым является оштукатуривание. Оштукатуривание фасада выполняется с использованием смесей заводского и самостоятельного приготовления. Так, например, простейшим вариантом является штукатурка на основе цементно-песчаного раствора. Такой способ отделки отличает доступная цена, простота нанесения, надежность и долговечность. Среди недостатков отметим непривлекательный вид. И, как следствие, необходимость в дополнительной отделке. Штукатурки с применением более сложных составов лишены недостатков, присущих смесям собственного приготовления. Новые отделочные материалы и технологии оштукатуривания позволяют сделать фасад загородного дома или коттеджа максимально устойчивым к негативному воздействию факторов внешней среды. Кроме того, новые технологии позволяют штукатурить фасады, делая их эстетически привлекательными.

Применение облицовочной плитки— это технология, апробированная временем и, тем не менее, не утратившая актуальности по сей день. Отделка плиткой (рис.1) позволяет сделать фасад максимально защищённым от атмосферных осадков. Кроме того, керамогранит и клинкер превосходно выглядят. Это является важным преимуществом, как при облицовке солидного коттеджа, так и при отделке обычного загородного дома. Плитка — это универсальное решение. Оно одновременно подходит для облицовки фасада, цоколя, дверных и оконных откосов. Несмотря на то, что инструкция укладки сложна и требует от исполнителей соответствующей квалификации, отделка экстерьера плиткой получает все большее распространение.

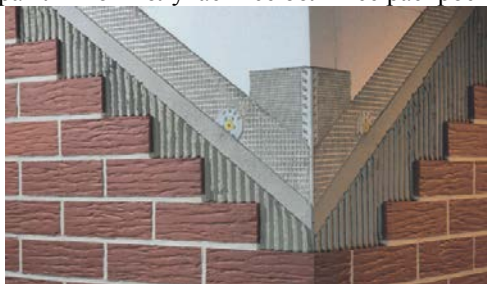


Рисунок 1 - Плитка для облицовки экстерьера

Облицовка декоративным кирпичом — это уникальная возможность придать фасаду или цоколю здания вид чистовой кирпичной кладки (рис. 2). Декоративный кирпич — это разновидность плитки толщиной 1-2 см. Такая плитка клеится своими руками на ровную поверхность посредством обычного плиточного клея. Среди преимуществ решения отметим низкую стоимость отделки и малую нагрузку на фундамент здания. В сравнении с традиционной кирпичной кладкой.



Рисунок 2 - Облицовка декоративным кирпичом

Отделка экстерьера декоративным камнем— это новая технология, которая популярна и востребована при обустройстве строительных объектов среднего и высшего ценового сегмента. Применение декоративного камня позволяет сделать дом более устойчивым к негативному воздействию факторов внешней среды. Эти элитные отделочные материалы одинаково хорошо переносят избыточную влажность и длительное воздействие прямых солнечных лучей. Главным преимуществом декоративного камня является его великолепный внешний вид, а также — разнообразие фактур и цветовых исполнений (рис.3). Монтаж камня выполняется на заранее оштукатуренную поверхность с применением специального клея.



Рисунок 3 - Фактура искусственного камня

Стеновые панели — еще одна разновидность декоративно-отделочных материалов, нашедших широкое применение при возведении и обустройстве малоэтажных строительных объектов. Стеновые панели изготавливаются с применением полипропилена, стеклопластика и прочих надежных, долговечных и недорогих материалов, они выполняют две функции: украшают экстерьер здания и снижают степень теплопроводности внешних стен.

Для эстетического оформления здания и для защиты несущих стен от негативного воздействия факторов внешней среды используются высокотехнологичные навесные конструкции, представляющие собой вентилируемые фасады (рис. 4).

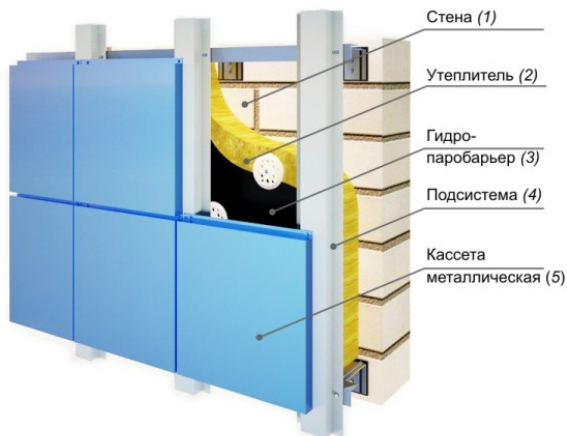


Рисунок 4 - Схема устройства вентилируемых фасадов

Для интерьерных решений собственного дома можно применить следующие материалы:

- Сухие строительные смеси с различными добавками для черновой и финишной отделки горизонтальных поверхностей. Они достаточно эластичны и характеризуются оптимальной адгезией, имеют белый цвет.

- Натяжные потолки обеспечивают идеально ровную поверхность за сравнительно небольшую цену. Потолки изготавливаются с применением винилового полотна, которое монтируется на специальном каркасе, установленном по периметру комнаты.

- Отделка гипсокартоном повсеместно распространена, но использование такого материала нецелесообразно в помещениях с низкими потолками.

- Обои — это широкий перечень изделий рулонного типа. Такие материалы просты в плане монтажа и эксплуатационного обслуживания.

Помимо материалов рулонного типа на рынке появляется все больший выбор так называемых жидких обоев, которые наносятся на стену и образуют при этом плотную пленку.

- Лакокрасочные покрытия — это широкий ассортимент средств органического и неорганического происхождения, которые наносятся на заранее подготовленные поверхности и служат для придания стенам того или иного цвета и фактуры.

- Штукатурка — это наиболее популярный способ отделки, повсеместно используемый в течение нескольких столетий. Есть множество разновидностей штукатурки, которые различаются в соответствии с составом раствора, в соответствии со способом нанесения и т.д.

Материалы, предназначенные для отделки пола, по своей структуре подразделяются на рулонные, жидкие, штучные и сборные.

- К рулонным материалам относится линолеум, ковролин, ковровое покрытие и т.д.

- Жидкие покрытия — это преимущественно наливные полы, самовыравнивающиеся стяжки и прочие решения, разработанные на полимерной основе.

- Штучные материалы — это паркет, паркетная доска и прочие покрытия, которые складываются в единое целое из множества небольших элементов.

Сборные покрытия — это сухие стяжки пола, установленные с использованием плит ГКЛ, ГВЛ, ОСП, ДСП ламинированной фанеры и т.д. [1,3].

Совершенно особое место среди декоративно-отделочных и художественных материалов занимают стекло и материалы из него, которые применяются человеком в искусстве, строительстве, архитектуре, технике и других отраслях промышленности около 6000 лет [4]. Одним из древнейших стекломатериалов является смальта - непрозрачное цветное стекло, которая используется для создания мозаичных композиций (рис. 5).



Рисунок 5 – Разновидности

К преимуществам смальты можно отнести высокую прочность, химическую стойкость, водонепроницаемость, морозостойкость, отличную жаропрочность, обеспечивающие долговечность смальтовых произведений, а также богатую палитру цветов и характерный блеск стекла, позволяющие создавать высокохудожественные декоративные и живописные композиции [5]. Учитывая тот факт, что в настоящее время все больше возрастает спрос на художественные произведения из мозаики при том, что на отечественном рынке по созданию таких работ свою продукцию предлагают в основном зарубежные фирмы (или по иностранной технологии), то актуальной является проблема разработки новых составов смальт различных цветов по ресурсосберегающей технологии с использованием стеклобоя, с последующим внедрением полученных составов в промышленности. В ходе исследований изучена возможность получения художественных смальт с использованием боя листового стекла, буры и соды, разнообразных красителей и глушителей. Использование в качестве основного компонента сырьевой смеси стеклобоя (до 70%) даёт экономию за счет замены дорогостоящего минерального сырья. Синтез художественных смальт осуществляли на основе боя многокомпонентных оксидных стекол тройной системы $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$, примерный химический состав которого, % (по массе): $\text{SiO}_2 - 60...80$, $\text{CaO} - 0...10$, $\text{Na}_2\text{O} - 10...25$, а также с использованием модификаторов и разнообразных красителей. Варка проходила в алундовых тиглях в интервале температур $1250-1350^\circ\text{C}$. Цвет синтезированных смальт определяли визуально с использованием Атласа цветов. Зависимость цвета смальт от количества и вида красителя указана в таблице.

Таблица - Цвет смальт в зависимости от количества и вида красителя

Название красителя	Количество сверх 100%, мас.%	Цвет смальты
Mn ₂ O ₃ , CoO	1,36; 1,0	Синий цвет
CuO	0,98	Голубой цвет
Se	0,5	Белый цвет
Fe ₂ O ₃	3,26	Зелено-коричневый цвет
Mn ₂ O ₃	1,2	Фиолетово-малиновый цвет
Se	0,5	Бледно-розовый цвет
Cr ₂ O ₃	0,2	Ярко-зеленый цвет

Применение стандартных методов физико-химических исследований материалов позволили заключить, что в исходном состоянии полученные смальты – цветные стекломатериалы, представляющие собой сочетание твёрдого вещества (кристаллического и стекловидного) с микропорами. Образующаяся структура исследуемых стекломатериалов обеспечивает высокие показатели их технических, эксплуатационных и декоративных свойств, что позволяет подтвердить возможность получения цветных художественных смальт по ресурсосберегающей технологии с использованием стеклобоя.

В наши дни искусственные материалы имеют лучшие качества натуральных и повышенную износостойкость, а также большое разнообразие цветов и рисунков. При выборе декоративно-отделочных материалов необходимо руководствоваться не только их визуальными и тактильными свойствами, но и контекстом, в котором они будут использоваться. Цифровые технологии позволяют создавать выразительный архитектурно-строительный дизайн с применением широкого спектра декоративно-отделочных материалов, обладающих целым комплексом эстетических свойств.

Список литературы:

1. СТУДИЯ «РЕНЕССАНС» [Электронный ресурс] URL: <http://www.stucco.ru> (дата обращения: 18.04.2018).
2. Барановский Г.В. Архитектурная энциклопедия второй половины XIX века. Т. VII. Детали. СПб.: Строитель, 1904. 132 с.
3. Уолтон С. 1000 идей по оформлению интерьера: Как сделать ваш дом красивым / С.Уолтон. – М.: РАДУГА, 1997. – 256 с.
4. Зубехин А.П., Лазарева Е.А. и др. Технология изготовления и художественной обработки стекла. Введение в специальность [Текст] : учеб. пособие - Новочеркасск : ЮРГТУ, 2004. - 160 с.
5. Лазарева Е.А. Мастерство мозаичного искусства : учеб.-метод. пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2011. - 92 с.

ГИДРОКСИЛЬНЫЕ ГРУППЫ В СТРУКТУРЕ СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА

**Минько Н.И., д-р техн. наук., профессор,
Добринская О.А.,
Добринский М.В.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Рассмотрена проблема наличия воды в структуре силикатных стекол и ее вероятного влияния на многокомпонентные составы силикатных стекол.

Ключевые слова: вода, гидроксильные группы, силикатные стекла, газообразование, свойства стекла

Готовое стекло (стеклоизделие) прозрачно и не должно содержать различные пороки, в том числе газовые включения (пузыри). Но, если такое качественное стекло нагреть до температуры размягчения в вакууме, начинается выделение газообразных продуктов в виде пузырей. Обусловлено это тем обстоятельством, что для получения стекла используются сырьевые материалы, которые в процессе нагрева и силикатообразования разлагаются с выделением газообразных продуктов (сода, сульфат, осветлители, восстановители, окислители и пр.). Кроме того, расплав стекломассы поглощает газы из пламенного пространства стекловаренной печи. Поэтому стекломасса насыщена газами (SO_2 , CO_2 , SO_3 , NO_2 , O_2 и др.), которые подразделяются на растворимые и нерастворимые в стекломассе.

Весь технологический процесс стекловарения на стадии осветления (освобождения от видимых газообразных включений) при максимальной температуре $1500\text{...}1590^\circ\text{C}$ осуществляется до достижения равновесия между газами, растворенными в стекломассе и газами печного пространства. При повторном нагреве на стадии студки начинается выделение «вторичных» пузырей, что является браком продукции.

В технологиях стекловарения этот процесс газопоглощения и газовыделения четко контролируется. Но при этом для составов стекол крупнотоннажного производства (листовое, тарное, сортовое и пр.) не учитывается роль воды в газообразовании, структуре стекла и влиянию на технологию и свойства продукции.

На первый взгляд, стекло, высокие температуры его получения и вода несовместимы в сравнении, например, с технологией вяжущих

Наличие группы OH^- в кварцевом стекле особенно снижает его светопропускание в УФ- и ИК- областях спектра, что недопустимо для отдельных стеклоизделий, особенно оптического приборостроения (рис.2) [11, 12].

Силикатный расплав интенсивно поглощает пары воды в широком температурном интервале (600...1400°C) в виде газообразования, хотя содержание OH^- -групп относительно невелико и зависит от метода получения кварцевого стекла (табл.).

Таблица - Содержание OH^- -групп в кварцевом стекле, полученном различными методами (по данным ИК-спектрометрии)

Метод получения кварцевого стекла	Содержание OH^- -групп, мас. %
Вакуум-компрессионный	Безгидроксильные стекла
Электротермический	$(1-5) \cdot 10^{-4}$
Плазмохимический	$< (5-8) 10^{-4}$
Газопламенный	0,01-0,04
Парофазный	0,1-0,3

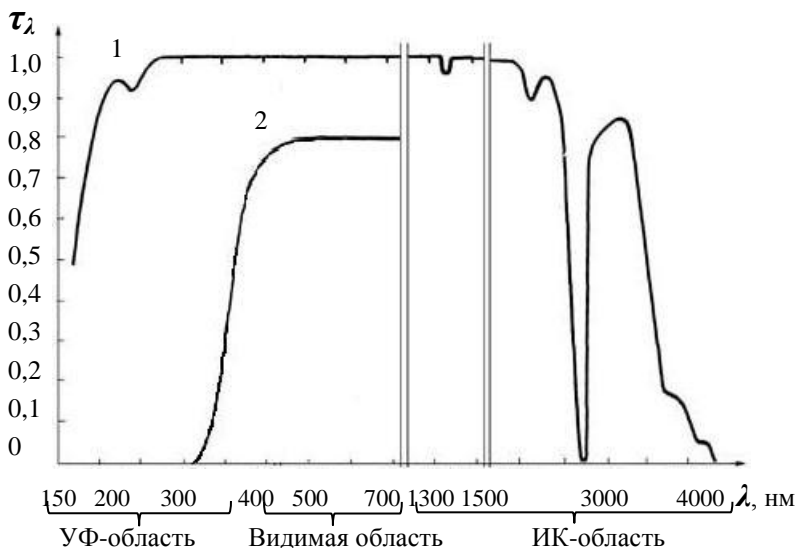


Рисунок 2 - ИК-спектры (τ_λ – коэффициент светопропускания; λ – длина волны): 1 – кварцевого стекла; 2 – листового стекла

Листовое стекло является многокомпонентным (мас.%): SiO_2 – 72,4; Al_2O_3 – 1,4; MgO – 3,2; CaO – 9,5; Na_2O – 13,2; K_2O – 0,3.

Граничные условия пропускания листового (на «чистых» сырьевых материалах) стекла 380...1100нм; общее светопропускание на 1 см толщины составляет 86-87%. Снижение светопропускания в ИК-области при 1100 нм обусловлено наличием Fe^{2+} , в УФ-области – наличием Fe^{3+} . В технологии листового стекла используют обогащенный песок, доломит, ПШК, но они содержат примеси железосодержащих материалов в пределах 0,03-0,1 мас.%.

Кварцевое стекло, являющееся однокомпонентным, получают плавкой особо чистых разновидностей кремнезема (горный хрусталь, жильный кварц и др.), которые в виде включений содержат воду и плавка ведется в различных водосодержащих условиях.

Содержание гидроксильных групп (основные линии поглощения в ИК-области – 2700нм и 3600нм) в кварцевом стекле обусловлены методом технологии его получения.

Поэтому в зависимости от области применения кварцевого стекла выбирается технология его плавки.

Кроме того, не определена роль OH^- -групп в регулировке окислительно-восстановительных процессов в стекольных технологиях [13].

Для многокомпонентных силикатных стекол наличие OH^- -групп на данном этапе требований к его техническим характеристикам не является остро актуальной проблемой. Но развитие новых технологий в стекольной промышленности с использованием гидроксидов, вторичных продуктов и новых видов сырьевых материалов с более высокими требованиями к физико-химическим свойствам и особенно оптическим, выводят проблему содержания OH^- -групп в стекле далеко не на последнее место.

Список литературы:

1. Минько Н.И., Добринская О.А., Гридякин К.Н., Булгаков А.С. Системный подход к использованию вторичных продуктов в технологии стекломатериалов // Стекло и керамика, 2017. №5. С.3-6.
1. Min'ko N. I., Dobrinskaya O. A., Gridyakin K. N., Bulgakov A. S. Systems approach to using secondary products in glass materials technology // Glass and Ceramics, 2017. V. 74. No. 5-6. pp. 149-152.
2. Минько Н.И., Добринская О.А., Жариков А.В. Реакционная способность аморфных разновидностей кремнезема // Сб. докладов 9-й Международной конференции «СТЕКЛОПРОГРЕСС-XXI», 2018. С.165-170.

3. Ефременков В.В., Грибанов С.Ю. Особенности дополнительного увлажнения шихты перед загрузкой в стекловаренную печь // GlassRussia, 2017. №12. С.25-29.
4. Минько Н.И., Лазько Е.А., Дороганов Е.А. Влияние стекольного боя на процесс брикетирования стекольной шихты // Стекло и керамика, 2008. №9. С.14-18.
5. Минько Н.И., Лавров Р.В., Варавин В.В. Гидроксид натрия в стекольной технологии // Стекло мира, 2013. №3-4. С.139-143.
6. Минько Н.И., Лавров Р.В. Щелочной концентрат для стекловарения // Стекло и керамика, 2014. №10. С.25-30.
7. Медведев Е.Ф., Минько Н.И. Особенности синтеза в водной среде силикатных и боросиликатных стекломатериалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. №10. С. 156-165.
8. Нариев В.Н. Влияние воды на физико-химические свойства стекол // Физика и химия стекла, 2004. Т.30. №5. С.499-530.
9. Голубева О.Ю., Павинич В.Ф. Вода в структуре бинарных щелочборатных стекол по данным ИК спектроскопии // Физика и химия стекла, 2005. Т.31. №2. С.209-218.
10. Сивко А.П., Беляков В.И., Ботаницин В.Н., Царегородцев Ю.А., Новокшенова Г.К. Вода в кварцевом стекле // GlassRussia, 2008. №7. С.19-22.
11. Зипунников А. Кварцевые стекла: особенности производства, ГОСТ. Стекло кварцевое оптическое: применение [Электронный ресурс] // «ФБ» [сайт], [2019]. URL: <http://fb.ru/article/313733/kvartsevyie-stekla-osobennosti-proizvodstva-gost-steklo-kvartsevoe-opticheskoe-primeneniye>.
12. Халлиев В.Д., Прохорова Т.И. Основы технологии производства кварцевого стекла: учебное пособие. Л.: Стройиздат, 1983. 66с.
13. Минько Н.И., Морозова И.И. Влияние окислительно-восстановительного потенциала на процессы варки и свойства стекол // Стекло и керамика, 2014. №7. С.8-11.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

**Морева И.Ю., канд. техн. наук, доцент,
Вареникова Т.А., вед. инженер,
Кириллова Н.К., аспирант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. В данной статье рассматриваются аддитивные технологии, используемые при изготовлении керамических изделий. С помощью современных аддитивных технологий создаются разные модели, изделия и конструкции. Они могут быть сложными, их можно изготавливать из разных материалов. Создание керамических трехмерных изделий – это пока малораспространенная область аддитивных технологий, требующая исследований.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, керамические изделия, керамическая масса.

Применение аддитивных технологий в производстве керамических изделий посредством 3D-печати является инновационным решением. Интерес к аддитивным технологиям возрастает с каждым днем во всем мире, так как повышается потребность рынка в более экономичных и менее трудоемких разработках. Эти изобретения нашли применения в самых разных областях производства: строительстве, судо- и машиностроении, фармакологии и медицине, нефтегазовой и сельскохозяйственной промышленности, космонавтике. Применение аддитивным технологиям нашлось и в строительстве, где технология 3D-печати позволяет значительно облегчить ряд производственных этапов. Однако основной проблемой на данный момент является подбор составов смесей.

Особенно интенсивно развитие аддитивных технологий протекает в зарубежных странах - США, Германии, Китае, однако, на счету России имеется большое количество разработок, позволяющих получить изделия сложных форм и разных размеров [1].

Недавно появившиеся аддитивные технологии обеспечивают огромный скачок в достижении «геометрической гибкости» при изготовлении керамических изделий сложных конфигураций по сравнению со способами, традиционно применяемыми в технологии керамики.

На сегодняшний день керамические изделия можно получить различными видами 3D-печати: послойным формованием из расплавленной пластифицирующей массы; послойным спеканием полимера лазером; струйным моделированием с использованием связующих веществ или полной печатью детали посредством склеивания порошка. Классификация охватывает широкую область аддитивных технологий, объединяя по общему принципу формования слоя различные методы 3D-печати, из них наибольшее развитие в области керамики получили следующие:

3DP – струйная печать; SLS – селективное лазерное спекание; SLM – селективное лазерное плавление (наплавка); DIP – прямая печать; SLA – стереолитография (отверждение фотополимерной смолы лазером); FDM – наплавка экструдированных паст.

В зависимости от вида применяемой аддитивной технологии при изготовлении деталей используются различные типы сырья, которые обычно классифицируют следующим образом:

- суспензии;
- пасты;
- порошки или порошкообразные смеси [2].

Один из известных мировых брендов для 3D-печати керамики – это принтер компании Tethon 3D. Tethon 3D решила модернизировать процесс струйной 3D-печати использованием прессы. Он будет применяться с целью уплотнения свеженанесенных слоев. Это поможет улучшить плотность готовых керамических моделей после обжига. Работоспособность данной концепции уже была подтверждена. Для этого компания использовала рабочий прототип 3D-принтера и керамические порошки собственного производства «Tethonite» [3].

В компании HRL Laboratories (США) разработали технологию 3D-печати высокопрочной керамики.

Исследователи из частной компании HRL Laboratories разработали и продемонстрировали новый метод аддитивного производства (3D-печати), позволяющий создавать изделия из керамического материала высокой прочности. Получившийся материал выдерживает рекордные температуры и нагрузки. Сотрудники HRL Laboratories - ведущий инженер-химик Зак Эккель (Zak Eckel) и ведущий химик д-р Чаоинь Чжоу (Chaoyin Zhou) разработали специальный прокерамический полимер, выступающий в качестве «полуфабриката». После «выращивания» изделия с помощью аддитивной технологии оно подвергается высокотемпературной обработке, и в результате становится керамическим (в составе содержатся 36% кислорода, 26%

кремния, 33% углерода и 4% серы). Материал приобретает способность выдерживать температуры как минимум до 1700°C. В HRL Laboratories сообщают, что полученные разработки могут применяться, к примеру, при создании реактивных двигателей и при производстве микроэлектромеханических систем [4].

Таким образом, несмотря на достигнутое разнообразие аддитивных технологий, практически любая технология приготовления керамических материалов для 3D-печати предполагает введение керамической составляющей в виде специально приготовленного порошка со строго заданными характеристиками частиц. Все это объясняется необходимостью интенсивной обработки материала, включая его обжиг и глазурирование.

Список литературы:

1. Глазунов В.С., Черепанова М.В. Применение аддитивных технологий в производстве керамических изделий // Вестник ПНИПУ. 2018. №4. С.174-186.
2. Крахматова В.Ю., Захаров А.И. Формирование массы аддитивного производства керамических изделий // Успехи в химии и химической технологии. 2016. № 7. С. 53-54.
3. Zak C. Eckel, Chaoyin Zhou, John H. Martin, Alan J. Jacobsen, William B. Carter and Tobias A. Schaedle. Additive manufacturing of polymer-derived ceramics // Science 01 Jan 2016: Vol. 351, Issue 6268, pp. 58-62
4. <http://integral-russia.ru/2016/12/30/additivnye-tehnologii-dlya-pechati-keramiki/>

ОСОБЕННОСТИ СЫРЬЕВОГО СОСТАВА СМЕСИ ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ В РОССИИ

Нелюбова В.В., канд. техн. наук, доцент,

Усиков С.А.,

Масанин О.О., аспирант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. В статье приведены основные подходы к получению высокопрочных бетонов. Показано, что для получения качественных материалов необходим рациональный подбор компонентного состава с использованием множества компонентов разной granulometрии, обеспечивающих получение высокоплотной упаковки твердой фазы.

Ключевые слова: высокопрочный, бетон, цемент, заполнитель, пластификатор, минеральный порошок

Высокопрочный бетон относится к числу материалов, активно используемых в настоящее время при возведении сооружений различного назначения. Особенно актуально это в странах с высокой плотностью населения. Поэтому очевидно, что лидерами в данной области являются Китай, Япония и др.

Территория Российской Федерации отличается большими незаселенными пространствами. Тем не менее, разработка технологий получения и применения высокопрочных бетонов для России актуальна ввиду увеличения числа мегаполисов, а также необходимости формирования «запаса» технических характеристик конструкций при их эксплуатации в регионах с суровыми климатическими условиями.

Пилотным проектом применения такого рода материалов является комплекс Москва-Сити, при возведении которого были внедрены инновационные технологии. Разработкой составов и технологий производства высокопрочных бетонов для использования в различных условиях эксплуатации в разное время занимались ученые НИИЖБ, МГСУ, ИвГПУ, КазГАСУ, ПГУАС и представители многих других научных школ.

К сырьевым материалам для высокопрочных бетонов предъявляются повышенные требования в отличие от рядового бетона. Поскольку правильно подобранный состав должен обеспечить необходимые характеристики для бетона, его повышенную прочность при минимальных затратах на сырье.

В обобщенном варианте для получения такого бетона используют в зависимости от задач цемент различных марок, крупный заполнитель в виде щебня, мелкий заполнитель, обеспечивающий максимальное уплотнение смеси, и комплекс добавок, выполняющих различные функции (пластификаторы, ускорители и твердения и т.д.).

Очевидно, что основным компонентом, обеспечивающим конечные свойства матрицы композита, является вяжущее. Для получения конечного изделия с высокими показателями качества целесообразно использовать цементы с повышенной прочностью, а также вяжущие, обеспечивающие быстрый набор прочности в ранние сроки для сохранения структуры материала. Использование в данном случае композиционных вяжущих позволит улучшить свойства готового продукта без перерасхода связующего и обеспечит повышение свойств конечного композита [1–3 и др.].

При изготовлении высокопрочных бетонов применяются пески различного состава и гранулометрии. При этом для достижения высокой плотности бетона как гаранта водонепроницаемости целесообразно использованием комплекса мелких заполнителей с разными модулями крупности для формирования плотной упаковки сыпучих компонентов. Эффективность такого подхода обоснована многочисленными работами [4–6].

В качестве крупного заполнителя используется щебень различных марок по прочности. Однако, обязательным условием является необходимость соблюдения характеристик щебня не ниже прочности бетона, в котором он будет использован. Это обеспечит формирование физического каркаса конечной конструкции. При этом стоит отметить, что при проектировании составов высокопрочных бетонов за рубежом существенно отличаются фракции крупного заполнителя. Чаще используется отсев с размером зерна не более 1 см.

Для повышения прочности раствора и бетона используются пластифицирующие добавки, действие которых основано на водоредуцировании растворной смеси, что приводит к уплотнению затвердевшего материала без формирования дополнительной пористости, обусловленной испарением избытка воды. К числу наиболее эффективных добавок такого типа относятся химические соединения на поликарбоксилатной основе.

Для заполнения межзерновых пустот в таких материалах зачастую используются минеральные тонкодисперсные порошки. Такими компонентами могут выступать как условно инертные материалы (например, карбонатные порошки), так и обладающие пуццолановыми

свойствами (например, микрокремнезем). Второй вариант более целесообразен ввиду реализации нескольких функций: уплотнение смеси и связывание избытка портландита в кристаллическое вещество, формирующее каркас межзернового пространства. В качестве пуццолановых компонентов в разное время использовались микрокремнезем, цеолиты, золу-уноса, отходы ГОКов и множество других материалов [7, 8 и др.]. Их использование с одной стороны обеспечивает утилизацию некондиционного сырья, а с другой – приводит к повышению качества изделий с их использованием.

Одним из эффективных способов модификации структуры и, как следствие, улучшения свойств бетона является комплексное использование компонентов, например, органоминеральных добавок, состоящих из пластифицирующих и пуццолановых компонентов. В таком варианте происходит равномерное распределение тонкодисперсного компонента в оболочке поверхностно-активного вещества по объему смеси [9, 10].

Несмотря на многочисленные исследования и опыт проектирования высокопрочного бетона, проблема подбора состава смесей с использованием местных недифицитных ресурсов все еще актуальна. Однако, для получения материала с заданными показателями качества необходимо учитывать современные достижения в области химии материалов в части использования синтезированных пуццолановых добавок с высокой активностью; функционализированных химических добавок; фракционированных заполнителей и наполнителей для обеспечения высокой плотности упаковки твердой фазы, а также применять исходное сырье высокого качества, исключаящую утилизационную функцию производства.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», уникальный идентификатор проекта RFMEFI58317X0063.

Список литературы:

1. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Композиционные вяжущие для порошковых бетонов с промышленными отходами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 6–9.

2. Бондоренко А.И., Фоменко Ю.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Оценка влияния кварца различного происхождения на свойства ВНВ // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С. 41-44.
3. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Новиков К.Ю. Высокопрочные бетоны на композиционных вяжущих с применением техногенного сырья // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 2 (17). С. 174–180.
4. Хархардин А.Н., Строкова В.В., Топчиев А.И. Структурная топология дисперсных материалов и композитов // Строительные материалы. 2006. № 3. С. 78.
5. Хархардин А.Н., Сулейманова Л.А., Строкова В.В. Топологические свойства полидисперсных смесей и составляющих их фракций по результатам ситового и лазерного анализов гранулометрии // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 11-12 (647-648). С. 114–124.
6. Хархардин А.Н., Нелюбова В.В., Строкова В.В. Топологические свойства дисперсных материалов и других дискретных систем // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 10 (682). С. 100-109.
7. Строкова В.В., Соловьева Л.Н. Оценка влияния кристаллических затравок на структурообразование цементного камня // Строительные материалы. 2009. № 3. С. 97–98.
8. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Ковалева И.А. Порошковые бетоны с использованием техногенного сырья // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 101–109.
9. Алфимова Н.И., Шадский Е.Е., Никифорова Н.А. Эффективность использования органо-минерального модификатора на основе вулканогенно-осадочных пород // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 2 (17). С. 120–128.
10. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Органоминеральные высокопрочные декоративные композиции // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 67–69.

ДЕГИДРАТИРОВАННАЯ ГЛИНА КАК ЭФФЕКТИВНАЯ МИНЕРАЛЬНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ БЕТОНОВ*

Низина Т.А., д-р техн. наук, профессор,
Володин В.В., аспирант,
Бальков А.С., инженер

*Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет им. Н.П. Огарёва*

Аннотация. Приведены результаты использования обожженной глины в качестве минеральной добавки к цементным композитам. Показана возможность получения цементных композитов с повышенными прочностными характеристиками, как за счет введения добавки, так и за счет оптимизации режима обжига глины.

Ключевые слова: цементные композиты, минеральные добавки, глина, режим обжига, плотность, прочностные показатели.

Высокая механическая прочность композиционных цементных материалов, в частности, бетона является одним из важнейших его свойств. Она определяется водоцементным отношением и степенью уплотнения смеси. Влияние данных факторов в настоящее время достаточно изучено [1 – 2] и регулируется соответствующей нормативной документацией. Известно также, что высоких прочностных показателей бетона можно достичь при использовании органических и минеральных добавок. Применение добавок в бетоне позволяет [3-5]: улучшить удобоукладываемость, повысить устойчивость к водоотделению, уменьшить водопотребность и расход пластификаторов, увеличить прочность, снизить усадочные деформации, повысить долговечность, морозостойкость и стойкость к сульфатной, хлоридной, уксусной и щелочной коррозии, снизить расход цемента.

В последние годы в качестве активной минеральной добавки в портландцемент получило определённое распространение введение метакаолина [6-8], получаемого термической обработкой каолиновых глин при температурах в диапазоне 700-800 °С. Однако для широкомасштабного производства и применения метакаолина определённым препятствием является ограниченность месторождений и запасов каолиновых глин во многих странах, в том числе и в России. Так, на долю Российской Федерации, занимающей примерно 1/9 площади суши всего земного шара, приходится всего лишь 3% от общемировых запасов каолина.

Ограниченностью сырьевой базы применяемых минеральных добавок объясняется проведение исследований пуццоланической активности прокалённых глинистых минералов и возможности получения минеральных добавок из повсеместно распространённых глин. В работах [9-11] представлены результаты исследований пуццоланической эффективности прокалённых молотых глин Оренбургской, Челябинской областей и Республики Татарстан с различным содержанием каолинита и полным его отсутствием. Показано, что данные глины могут иметь пуццоланическую активность, не уступающую микрокремнезёму и метакаолину.

На территории Республики Мордовия расположены более пятидесяти месторождений глинистых пород [12], что позволяет отнести разработку активных минеральных добавок на основе глинистого сырья к перспективным задачам строительной индустрии, решение которых минимизирует ряд экономических, технологических и экологических проблем цементной промышленности как в самом регионе, так и в стране в целом. При проведении экспериментальных исследований пуццоланической активности обожжённых глинистых пород была выбрана глина Старошайговского месторождения, расположенного в 2 км к юго-западу от с. Старое Шайгово Республики Мордовия, на II левобережной надпойменной террасе р. Сивинь [13]. Фазовый состав глины представлен в таблице 1. В качестве вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н производства АО «Серебряковцемент». Температура обжига глины составляла 400, 600 и 800°C. Время обжига составляло 2, 3 и 4 часа. Прокалённые глины подвергались помолу в шаровой мельнице в течение одного часа. Получаемые порошки вводились в состав цементного вяжущего в количестве от 2 до 18 % от массы портландцемента. Водотвёрдое отношение принято 0,3.

Таблица 1 - Фазовый состав глины Старошайговского месторождения

Фаза	Микроклин	Иллит	Альбит	Кварц	Кристобалит	Каолинит
Концентрация фаз, %	5,5	26,8	6,4	44	3	14,4

В ходе экспериментальных исследований было изучено изменение в зависимости от варьируемых факторов прочности при сжатии и на растяжение при изгибе в возрасте 7 и 28 суток [13]. Установлено, что ряд модифицированных цементных композитов достигает прочностных показателей при сжатии 70÷80 МПа и 11÷12 МПа и более на растяжение при изгибе, что сопоставимо с немодифицированным композитом.

По результатам исследований была проведена оптимизация составов модифицированных цементных вяжущих с установлением наиболее эффективных режимов обжига. Определение рациональных составов велось из анализа экспериментальных статистических моделей, описывающих изменение предела прочности при сжатии (1) и на растяжение при изгибе (2) цементных композитов (28 суток) на основе модифицированного обожженного глинистого сырья:

$$\sigma_{\text{сж.}} = 67,29 + 3,23 \cdot x_1 + 0,18 \cdot x_2 - 3,99 \cdot x_3 + 1,36 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,81 \cdot x_1 \cdot x_3 - 1,38 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,31 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - 7,55 \cdot x_1^2 - 4,35 \cdot x_2^2 + 4,48 \cdot x_3^2 - 0,91 \cdot x_1^2 \cdot x_2 - 0,56 \cdot x_1 \cdot x_2^2 - 0,49 \cdot x_1^2 \cdot x_3 - 2,19 \cdot (x_1 \cdot x_2 \cdot x_3)^2; \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{раст.}} = 10,11 + 0,62 \cdot x_1 - 2,06 \cdot x_2 - 0,57 \cdot x_3 - 0,49 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,19 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,14 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,09 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,57 \cdot x_1^2 + 0,43 \cdot x_2^2 + 0,12 \cdot x_3^2 + 2,47 \cdot x_1^2 \cdot x_2 - 0,19 \cdot x_1 \cdot x_2^2 + 0,23 \cdot x_1^2 \cdot x_3 - 0,36 \cdot (x_1 \cdot x_2 \cdot x_3)^2, \quad (2)$$

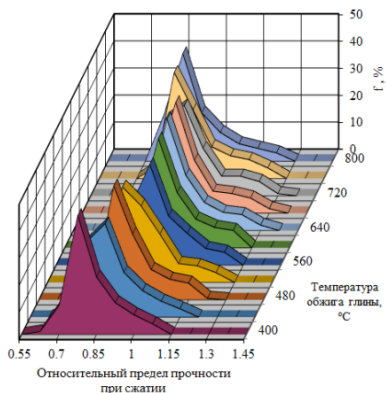
где x_1 – температура обжига; x_2 – время обжига; x_3 – доля добавки. Все используемые в уравнениях (1) и (2) факторы варьировались в кодовых величинах (от -1 до +1).

Выявление оптимальных областей компромиссных решений по каждому фактору в отдельности осуществлялось с помощью полигонов частот, являющихся одним из наиболее наглядных способов графического представления плотности вероятности случайной величины [14].

Проведенный анализ ЭС-модели (1) на основе полигонов частот (рис. 1) показал, что предел прочности при сжатии, соответствующий контрольному составу, может быть обеспечен для цементных композитов с минеральной добавкой при любом исследуемом уровне температуры и длительности обжига глинистого сырья. При этом для принятых температурно-временных интервалов обжига минеральной добавки суммарная доля составов, обладающих повышенными или соответствующими контрольному композиту характеристиками, варьируется от 22 до 41% в зависимости от длительности и от 11 до 45% – от температуры обжига. Установлено, что увеличение времени обжига глины с 2 до 3÷4 часов приводит к расширению диапазона относительных значений прочностных показателей модифицированных цементных композитов с 77,5÷115 до 62,5÷130%. Повышение температуры обжига глиежей с 400 до 720°C позволяет изменить допустимый (достижимый) диапазон значений предела прочности при сжатии с 62,5÷107,5 до 85÷130%. Дальнейшее повышение температуры

приводит к некоторому снижению граничных значений относительного прочностного показателя до 77,5 (нижняя) и 122,5% (верхняя граница) соответственно.

а)



б)

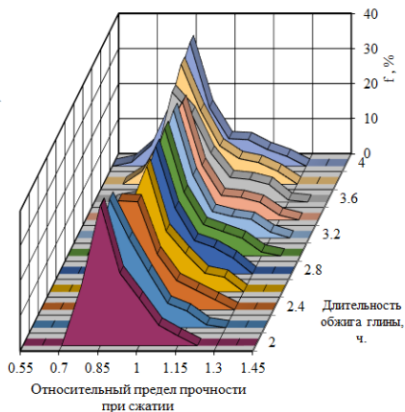
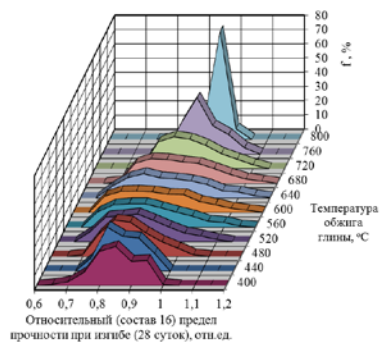


Рисунок 1 - Полигоны распределения относительного предела прочности при сжатии модифицированных цементных композитов в возрасте 28 суток:

а – от температуры обжига, б – от длительности обжига

а)



б)

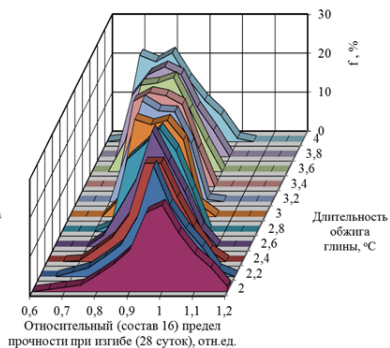


Рисунок 2 - Полигоны распределения относительного предела прочности

на растяжение при изгибе модифицированных цементных композитов в возрасте 28 суток: а – от температуры обжига, б – от длительности обжига

Анализ полигонов частот распределения предела прочности на растяжение при изгибе (рис. 2), выполненный на основе ЭС-модели (2), показал, что увеличение температуры обжига с 400 до 680 °С позволяет изменить допустимый (достижимый) диапазон значений прочности с 65÷100 до 70÷120%. Дальнейшее повышение температуры приводит к сужению граничных значений относительного прочностного показателя до 85÷104%. Увеличение времени обжига глины с 2 до 4 часов приводит не только к сужению диапазона относительных значений прочностных показателей модифицированных цементных композитов, но и к снижению верхних граничных значений – с 120% (при 2 часах) до 105% (при 4 часах).

По результатам исследования установлены оптимальные рецептурные и технологические принципы получения минеральной добавки на основе глинистого сырья, позволяющие повысить предел прочности при сжатии и на растяжение при изгибе модифицированных цементных композитов по сравнению с бездобавочным составом. Полученные результаты свидетельствуют, что полиминеральные глины, с преимущественным содержанием кварца и иллита, после термической обработки могут быть использованы как эффективные минеральные добавки к бетонам. Экспериментально доказано, что их применение позволяет достигать показателей предела прочности при сжатии и на растяжение при изгибе до 124% и 117% по сравнению с без добавочным составом. Полученные данные свидетельствуют о перспективности и актуальности направления по разработке бетонов с модифицирующими добавками на основе термоактивированных полиминеральных глин, что позволяет расширить номенклатуру выпускаемых на сегодняшний день модифицированных цементных композитов за счёт более полного использования местной минеральной сырьевой базы.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Мордовия в рамках научного проекта № 18-43-130008.

Список литературы:

1. Бондаренко В.М. Физические основы прочности бетона / В.М. Бондаренко, В.П. Селяев, П.В. Селяев // Бетон и железобетон. – 2014. – № 4. – С. 2-5.
2. Фаликман В.Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны / В.Р. Фаликман // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. – 2011. – № 2. – С. 78-84.

3. Ущеров-Маршак А.В. Бетоны нового поколения – бетоны с добавками / А.В. Ущеров-Маршак // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. – 2011. – № 1. – С. 78-81.
4. Калашников В.И. О применении комплексных добавок в бетонах нового поколения / В.И. Калашников, О.В. Тараканов // Строительные материалы. – 2017. – № 1-2. – С. 62-67.
5. Низина Т.А. Анализ комплексного влияния модифицирующих добавок и дисперсного армирования на физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов / Т.А. Низина, А.С. Балыков // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №4. – С. 25-33.
6. Брыков А.С. Метакаолин / А.С. Брыков // Цемент и его применение. – 2012. – №7-8. – С. 36-40.
7. Метакаолин – эффективная минеральная добавка для бетонов / Л.И. Дворкин, В.В. Житковский, О.Л. Дворкин, А.Р. Разумовский // Технологии бетонов. – 2015. – №9-10 (110-111). – С. 21-24.
8. Низина Т.А. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок / Т.А. Низина, А.Н. Пономарев, А.С. Балыков // Строительные материалы. – 2016. – №7. – С. 68-72.
9. Rakhimov R.Z. Properties of Portland cement paste incorporated with loamy clay / R.Z. Rakhimov, N.R. Rakhimova, A.R. Gaifullin, V.P. Morozov // Geosystem Engineering. – 2017. – Т. 20. – №6. – С. 318-325.
10. Гайфулин А.Р. Влияние добавок глинистых в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня / А.Р. Гайфулин, Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 7 (59). – С. 66-73.
11. Fernandez R. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite / R. Fernandez, F. Martizena, K.L. Scrivener // Cement and Concrete Reserch. – 2011. – № 41. – P. 113-122.
12. Минерально-сырьевая база строительной отрасли Мордовии: практ. пособие. Ч. 1: Глины и суглинки / В.П. Селяев, А.А. Ямашкин, Л.И. Куприяшкина [и др.]. // Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. – 2013. – 152 с.
13. Опыт применения обожжённой глины в качестве минеральной добавки к цементным композитам / В.В. Володин, Т.А. Низина, А.С. Балыков, Д.И. Коровкин, И.С. Козлятников, Д.С. Башкаев, А.А. Григорьева // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций : материалы Всеросс. науч.-техн. конф. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2018. – С. 36-42.
14. Ляшенко Т.В. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении / Т.В. Ляшенко, В.А. Вознесенский // Одесса: Астропринт. – 2017. – 168 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЛАКА ОЭМК НА СВОЙСТВА КЛИНКЕРА И ЦЕМЕНТА

Новоселов А.Г., канд. тех. наук, доцент,
Вакуленко Е.А., магистрант,
Ершова Ю.И., студент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Осуществлена комплексная оценка состава шлака ОЭМК, изучены процессы, протекающие при его нагревании. Проанализирована эффективность замены железосодержащего компонента сырьевой смеси данным шлаком в производстве цемента сухим способом. Рассмотрено влияние шлака на микроструктуру клинкера и прочность цемента.

Ключевые слова: шлак ОЭМК, железосодержащий компонент, сухой способ, термический анализ.

В производстве цемента в большинстве случаев используется природное сырье, такое как известняк, глина, мергель и др. Но в последнее время существует тенденция к развитию использования вторичных ресурсов как сырья для производства строительных материалов. Это вызвано, в первую очередь, повышающимися требованиями к сохранению благоприятной экологической обстановки. А также стремлением к экономии сырьевых материалов и замене их на более дешевые и доступные.

Одним из таких техногенных отходов является шлак Оскольского электрометаллургического комбината. Шлак получают в результате плавки чугуна и различных металлов. Выход данного шлака составляет лишь 7-10% от массы вырабатываемой стали, поэтому используется он реже других [1].

Для дальнейшего использования шлак проходит несколько стадий обработки: дробление, фракционирование и магнитная сепарация. После переработки он находит применение во многих отраслях промышленности. Из него производят щебень для дорожного строительства, минеральные удобрения, шлаковату, бесклинкерные вяжущие и сухие строительные смеси [2, 3, 4]. Также существует возможность использования шлака ОЭМК как сырьевого компонента при производстве цемента мокрым и сухим способами [5,6].

Стоит учитывать, что химический состав шлака непостоянен и зависит от вида выпускаемой стали и способа его охлаждения.

Структура сталеплавильных шлаков довольно неустойчива: куски шлака растрескиваются и рассыпаются в порошок. Это объясняется наличием свободной извести, которая под действием влаги и воздуха гидратирует, увеличивается в объеме, что и вызывает разрушения.

Таблица 1 - Химический состав шлака ОЭМК, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	ППП
26,62	4,35	12,84	40,63	8,60	0,38	0,11	0,25	6,21

Данный вид шлака имеет очень сложный состав – в них может наблюдаться до 20 различных минералов, в том числе и характерных для портландцементного клинкера. Шлак характеризуется высоким содержанием CaO (более 40%) и Fe₂O₃ (более 10%) (табл. 1). Данный шлак имеет модуль основности 1,59, поэтому считается известковым.

С помощью рентгенофазового анализа шлака выявлено, что основными фазами являются гидросиликат кальция C₂SH(Å) (2,858 Å, 2,734 Å, 2,600 Å, 2,478 Å, 2,270 Å, 1,888 Å), γ-C₂S (3,018 Å, 2,793 Å, 2,332 Å, 2,029 Å), вюстит FeO (2,146 Å), гематит Fe₂O₃ (2,940 Å, 2,698 Å), периклаз MgO (2,117 Å), кальциевомагниевого состава, портландит Ca(OH)₂ (1,929 Å) (рис. 1).

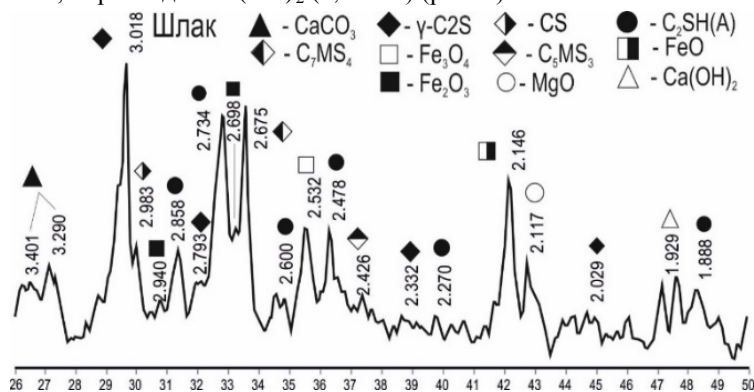


Рисунок 1 - Фазовый состав шлака ОЭМК

По результатам комплексного термического анализа наблюдается несколько эндотермических эффектов (рис. 2). Первый из них при температуре 113°C характеризует удаление физической влаги, максимальное выделение, которой, фиксируемое масс-спектрометром, приходится на температуру 134°C. Выделение влаги из образца

протекает до температуры 630°C. При этом происходит дегидратация гидросиликатов кальция во всем температурном интервале до 630°C. Об этом свидетельствует отсутствие возврата к базовой линии кривых ДСК и ДТГ. Эндозффект при температуре 392°C предположительно соответствует дегидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$. На кривой изменения выделения влаги также фиксируется максимум с температурой 399°C. С температуры 300°C фиксируется незначительное выделение углекислого газа CO_2 , количество которого увеличивается при подъеме температуры до 411°C и держится до температуры 435°C. От температуры 435°C наблюдается интенсивное выделение CO_2 , максимум которого приходится на 749°C. На кривых ДСК и ДТГ фиксируются эндозффект и увеличение скорости потери массы при температуре 747 и 744°C соответственно. Углекислый газ выделяется при декарбонизации карбоната кальция CaCO_3 , а низкая температура разложения карбоната кальция обусловлена тем, что этот процесс интенсифицируется процессом дегидратации веществ, входящих в состав шлака ОЭМК.

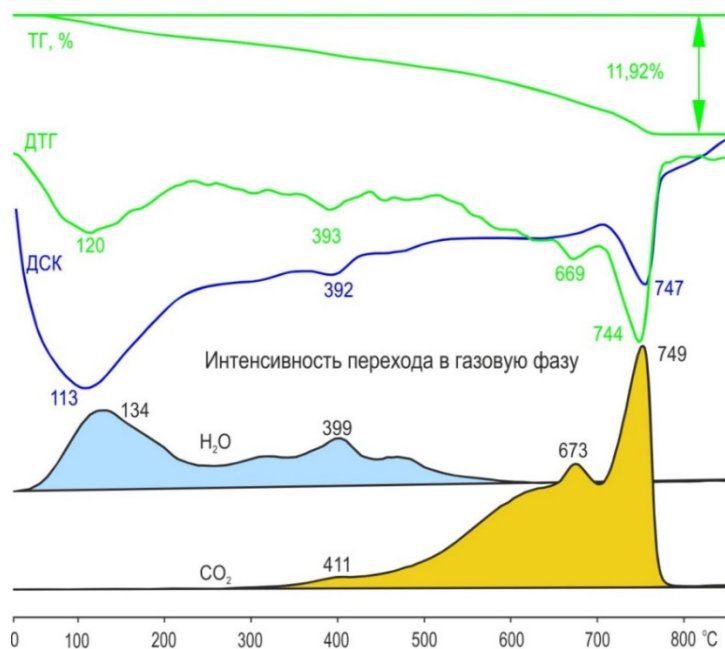


Рисунок 2 - Комплексный термический анализ шлака ОЭМК

На основе результатов проведенных анализов сделано предположение о возможности использования шлака ОЭМК как сырьевого компонента для производства цемента в качестве железосодержащей корректирующей добавки. Для проведения исследований были рассчитаны и подготовлены четыре сырьевые смеси со сходными характеристиками клинкера для получения сопоставимых результатов. Сырьевые смеси отличались содержанием шлака ОЭМК: сырьевая смесь №1 – 0%, №2 – 10%, №3 – 15% и №4 – 20%. Сырьевыми компонентами послужили известняк, глина четвертичная (Г.Ч.), глина юрская (Г.Ю.), отличающиеся содержанием SiO_2 и Al_2O_3 , шлак аглодоменный (Ш.А.) и боксит.

Таблица 2 - Характеристики сырьевых смесей

Химический состав сырьевых смесей, %									
Сырьевая смесь	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	ППП
№1 (0% шлака)	13,32	3,72	3,07	42,32	1,11	0,62	0,52	0,14	34,97
№2 (10% шлака)	14,52	3,31	2,37	43,87	1,70	0,26	0,37	0,16	33,23
№3 (15% шлака)	14,03	3,78	3,05	44,00	2,08	0,25	0,32	0,16	32,09
№4 (20% шлака)	13,54	4,25	3,72	44,13	2,46	0,25	0,28	0,16	30,95
Компонентный состав сырьевых смесей, %									
Шлак	Известняк	Г.Ч.	Г.Ю.	Ш.А.	Боксит				
0%	78,23	4,11	15,12	2,54	-				
10%	75,28	12,95	-	-	1,80				
15%	71,77	10,07	-	-	3,15				
20%	68,27	7,20	-	-	4,52				

Наличие в составе шлака ОЭМК оксида железа Fe_2O_3 позволяет исключить из состава сырьевых смесей №2, №3 и №4 аглодоменный шлак. Кроме того, повышенное количество оксида кальция CaO в составе шлака позволило уменьшить содержание известняка в сырьевых смесях. С учетом того, что из состава сырьевых смесей, содержащих шлак ОЭМК, исключается глина юрская (Г.Ю.), то в качестве корректирующей алюминатной добавки используется боксит.

Обжиг цементного клинкера выполнялся в лабораторной печи при температуре 1450°C с выдержкой 1 час. Результаты рентгенофазового анализа показали, что синтезированные клинкеры по фазовому составу практически не отличаются друг от друга. Данные клинкеры характеризуются высоким содержанием алита C_3S , наличием белита C_2S , а также трехкальциевого алюмината C_3A и четырехкальциевого алюмоферрита C_4AF .

Для сравнения микроструктуры полученного клинкера проводился петрографический анализ (рис. 3).

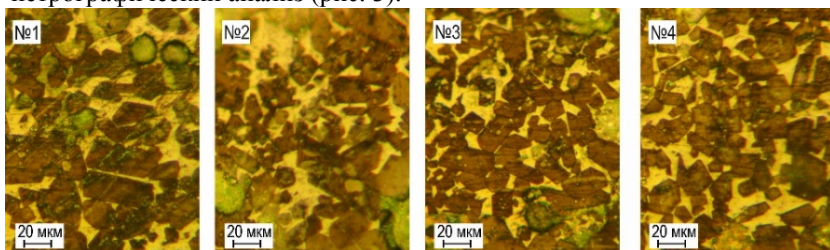


Рисунок 3-Микрофотографии аншлифов клинкера с содержанием шлака ОЭМК в сырьевой смеси: №1 – 0%, №2 – 10%, №3 – 15%, №4 – 20%

Все синтезированные клинкеры имеют четкую кристаллизацию. На микрофотографиях можно наблюдать, что при увеличении количества вводимого шлака в сырьевую смесь уменьшаются размеры кристаллов. Размер кристаллов алита клинкера №1 составляет 20...40 мкм, тогда как для клинкеров №2-4 размер кристаллов алита колеблется в пределах 12...24 мкм. Кристаллы белита во всех четырех клинкерах равномерно распределены и имеют размеры 28...56 мкм.

С целью определения прочности лабораторного цемента, синтезированные клинкеры измельчались в лабораторной мельнице с добавлением двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Количество гипса вводилось из расчета того, чтобы содержание SO_3 в цементе составляло 3%. Время помолы до удельной поверхности 330...340 m^2/kg для всех цементов составило 30 минут.

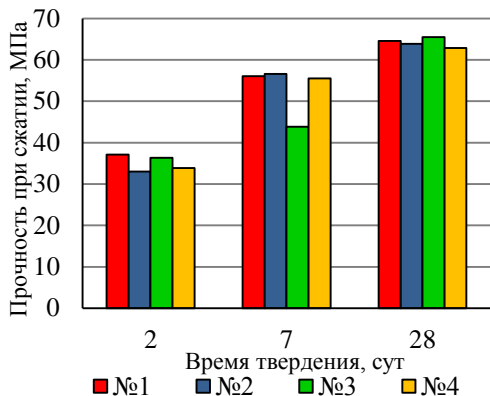


Рис. 4. Прочность образцов при сжатии

Затем формовались малые образцы-кубики с размером ребра 1,41 см из теста нормальной густоты. Образцы в течение суток твердели во влажных условиях, далее помещались в воду с температурой $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Изменение прочности цементного камня представлено на рисунке 4. В возрасте двух суток цементы показывают

примерно одинаковые значения прочности. Цемент №3 до семи суток по сравнению с другими образцами набирает прочность медленнее. В возрасте 28 суток все синтезированные цементы показывают близкие друг другу результаты более 60 МПа.

Выводы:

1. Наличие в составе шлака ОЭМК оксида железа Fe_2O_3 и оксида кальция CaO позволяет полностью использовать его в качестве корректирующей железосодержащей добавки и сократить расход известняка на 10% при вводе 20 % шлака ОЭМК.

2. Использование шлака ОЭМК в качестве сырьевого компонента не оказывает существенного влияния на фазовый состав, микроструктуру клинкера и прочность цемента.

Список литературы:

1. Панфилов М.И. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии. М.: Металлургия, 1987. 238 с.
2. Шаповалов Н.А., Загороднюк Л.Х., Тикунова И.В., Щекина А.Ю., Шкарин А.В. Шлаки металлургического производства – эффективное сырье для получения сухих строительных смесей // Фундаментальные исследования. 2013. № 1 (часть 1). С. 167-172.
3. Тамазов М.В., Довженко И.Г., Кондорин А.М., Верещака В.В., Тамазова И.А. К вопросу синтеза шлакощелочного вяжущего на основе саморассыпающегося сталеплавильного шлака // Цемент и его применение. 2012. №3. С. 127 – 129.
4. Кравченко, А.А., Богачев Н.С. Опыт строительства дорожных оснований из электросталеплавильных шлаков ОЭМК // Междунар. студ. форум «Образование. Наука. Производство». Белгород: Изд-во БГТУ, 2002. Ч.2. С. 299.
5. Классен В.К., Текучева Е.В., Кудрявцев В.П. Эффективность замены железосодержащего компонента сырьевой смеси шлаком ОЭМК. // Техника и технология силикатов. 2010. №2. С. 22-26.
6. Ершова Ю.И., Новоселов А.Г. Изучение эффективности использования шлака ОЭМК при производстве цемента сухим способом. [Электронный ресурс] Международная научно-техническая конференция молодых ученых. Белгород, 2018. ISBN 978-5-361-00633-5

ВЛИЯНИЕ БИОЦИДНЫХ ДОБАВОК НА ВОДООТДЕЛЕНИЕ И СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ ГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Огурцова Ю.Н., канд. техн. наук,

Дроздов О.И.

*Белгородский государственный технологический
университет имени В.Г. Шухова*

Аннотация. В целях разработки биостойких композиционных материалов исследовано влияние биоцидных добавок на свойства глиноземистого цементного теста. Показано изменение водоотделения и сроков схватывания цемента в присутствии дезинфицирующих средств: Диновис и Мегадез в различных дозировках.

Ключевые слова: глиноземистый цемент, биоцид, водоотделение, сроки схватывания.

При разработке биостойких материалов важным является установление влияния биоцидных компонентов на параметры цементной системы с целью исключения их негативного воздействия на процессы фазо- и структурообразования [1–4]. Рассмотрим такие параметры, как водоотделение и сроки схватывания цемента в присутствии биоцидов.

Водоотделение – расслоение цементного теста в процессе седиментационного осаждения твердой фазы [5]. Обусловлено неспособностью твердых частиц бетонной смеси удерживать избыточное количество воды затворения. При условии равенства скоростей водоотделения и испарения выделяемой воды, данное явление не несет за собой отрицательного влияния, что нельзя сказать при иных соотношениях данных параметров. Так, например, повышенное водоотделение приводит к увеличению пористости верхнего слоя бетона, что в свою очередь приводит к понижению биостойкости материала. С другой стороны, если испарение воды с поверхностного слоя идет быстрее, чем водоотделение, то происходит процесс образования трещин вследствие пластической усадки бетонной смеси [6].

Под сроками схватывания понимают процесс начала и конца загустевания бетонной смеси вследствие гидратации цемента. Применять свежеприготовленную бетонную смесь необходимо исключительно до начала процесса схватывания, в противном случае

прочность бетона будет низкой, так как схватившееся цементное тесто утратит клеящую способность. Таким образом, водоотделение и сроки схватывания цементного теста, являются одними из важнейших параметров бетонной смеси, так как они определяют дальнейшие эксплуатационные свойства материала.

Для разработки эффективных биостойких композиционных материалов для агропромышленного комплекса вопрос влияния биоцидных добавок на вышеупомянутые характеристики глиноземистого цемента имеет значительную актуальность [7].

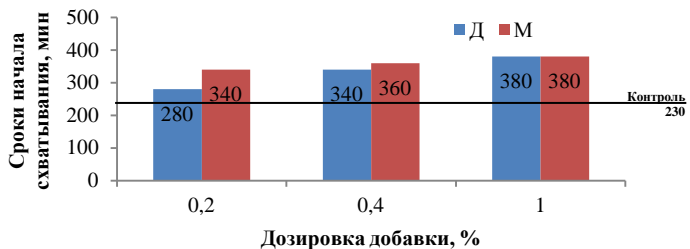
В процессе исследований использовался глиноземистый цемент марки ГЦ-50 по ГОСТ 969–91. В качестве биоцидных компонентов использованы дезинфицирующие средства Диновис (алкилдиметилбензиламмоний хлорид – 7 %, глиоксаль – 7 %, 2-метилмидазол – 0,1 %, функциональные добавки) и Мегадез (алкилдиметилбензиламмоний хлорид – 26,5 %, глутаровый альдегид – 0,55 %, глиоксаль – 7,5 %, а также технологические и функциональные добавки (в том числе неионогенный ПАВ, антикоррозионная добавка, краситель, отдушка, вода дистиллированная)) [8, 9].

Для проведения опытов были взяты дозировки биоцидов: 0,2; 0,4 и 1 % от массы цемента в составе воды затворения. Также был изготовлен контрольный состав без дезинфицирующих средств. Определение сроков схватывания и водоотделения проводились согласно ГОСТ 310.6–85 «Цементы. Методы определения водоотделения» и ГОСТ ГОСТ 310.3–76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема». Полученные данные приведены на рисунке 1.

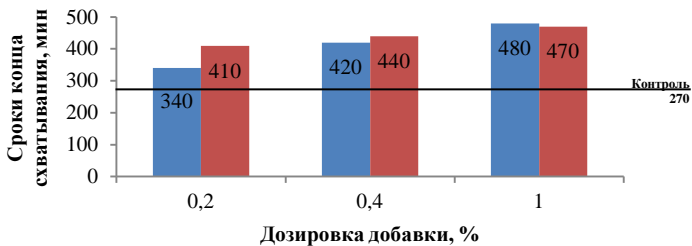
Значения контрольных составов: начало и конец сроков схватывания – 230/270 мин.; водоотделение – 27 %. Согласно полученным данным о сроках схватывания цементного теста, введенные биоциды выступили в данном случае замедлителями схватывания. Они увеличили как период до начала схватывания: Диновис в зависимости от дозировки на 50–150 минут, Мегадез на 110–150 минут, так и период между началом и концом схватывания: Диновис на 20–60 минут, Мегадез на 30–50 минут. Можно отметить, что в случае с Диновисом влияние на сроки схватывания цементного теста в большей степени связано с дозировкой – при минимальной дозировке влияние минимально. При этом влияние Мегадеза достаточно сильно даже при малых дозировках.

Замедляющий эффект исследуемых биоцидов может быть обусловлен как присутствием в их составе соединений хлора и

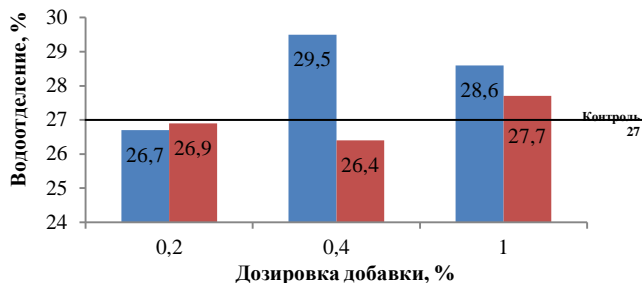
органических кислот, которые традиционно являются замедлителями схватывания глиноземистого цемента, так и содержанием поверхностно-активных веществ, которые формируют оболочки на частицах цемента, препятствующие проникновению воды для протекания гидратации.



а



б



в

Рисунок 1 - Начало (а) и конец (б) сроков схватывания, а также, водоотделение (в) глиноземистого цементного теста в зависимости от дозировки биоцида

При анализе полученных данных о водоотделении не было выявлено зависимости от концентрации. В частности, при использовании 0,2 % Мегадеза и Диновиса коэффициент водоотделения уменьшается на 0,4 и 1,2 % соответственно. Увеличение дозировки Мегадеза до 0,4 % приводит к дальнейшему уменьшению водоотделения на 2 %. В случае с Диновисом наблюдается обратный эффект и водоотделение увеличивается на 9,2 %. При использовании 1 % биоцидов коэффициент водоотделения увеличивается на 2,6 % для Мегадеза и 3,7 % для Диновиса. Таким образом, значительного влияния биоцидов на коэффициент водоотделения глиноземистого цемента не выявлено.

Изменение параметров водоотделения цемента при использовании биоцидов может быть обусловлено замедлением гидратации цемента и структурообразования цементного теста, изменением объема выделившейся воды; изменением скорости оседания и эффективности уплотнения осевших частиц за счет формирования оболочек поверхностно-активных веществ вокруг частиц цемента; пенообразования цементной смеси, в результате чего, часть частиц цемента длительное время остается в пене и не участвует в процессе седиментации, что искажает результаты эксперимента.

Полученные результаты позволяют продолжить разработку эффективных биостойких композиционных материалов для агропромышленного комплекса, но для установления механизма влияния биоцидов на цементную систему требуется проведение дополнительных исследований с использованием методов реологии, калориметрии и др.

Работа выполнена при финансовой поддержке в форме государственного задания Минобрнауки России, проект 7.872.2017/4.6.

Список литературы:

1. Строкова В.В., Рыкунова М.Д., Нелюбова В.В. Актуальность применения строительных композитов активного действия с учетом биоценоза животноводческих комплексов и ферм / Образование, наука, производство: сб. трудов VII Междунар. молодежного форума // Белгор. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова (Белгород, 20–22 окт. 2015 г.), Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 772–776.
2. Рыкунова М.Д., Строкова В.В. Перспектива применения биоцидов для защиты материалов от биоповреждений / Современные проблемы строительной науки: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. // Липецкий гос. технич. ун-т (Липецк, 08–10 февр. 2017 г.), Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета. С.

- 192–198.
3. Тумашова М.Д., Нелюбова В.В. Влияние биоцидных компонентов различного состава на прочностные свойства цементных растворов / Современные строительные материалы, технологии и конструкции: материалы Междунар. науч.-практ. конф. // Грозненский гос. нефтяной технич. ун-т им. акад. М.Д. Миллионщикова» (Грозный, 24–26 марта 2015 г.), Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», 2015. С. 279–283.
 4. Nelyubova V., Vasilenko M., Rykunova M., Danakin D., Strokova V. Comparative characteristics of binders resistance for building composites to mold fungi // В сборнике: MATEC Web of Conferences 27. Сер. «27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018», 2018. С. 04050.
 5. Бутт Ю.М., Окорочков С.Д., Сычев М.М., Тимашев В.В. Технология вяжущих веществ. М: Высшая школа, 1965. 620 с.
 6. Нормантович А.С. Регулирование процесса водоотделения цементно-водных дисперсных систем: дис.... канд. техн. наук. Белгород, 2005. 130 с.
 7. Строкова В.В., Нелюбова В.В., Рыкунова М.Д. Некоторые аспекты проектирования объектов АПК с учетом специфики их эксплуатации / Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона: сб. науч. трудов по материалам VI Международной науч.-практич. конф., Саратов: Изд-во СГТУ, 2018. С. 199–203.
 8. Рыкунова М.Д., Нелюбова В.В., Карнаухова М.Д. Экоотоксикологические исследования биоактивных компонентов / Инновации в строительстве – 2017: материалы междунар. науч.-практич. конф. // Брянский государственный инженерно-технологический университет (Брянск, 20–22 нояб. 2017 г.), Брянск: Изд-во БГИТУ, 2017. С. 121–126.
 9. Strokova V., Nelyubova V., Vasilenko M., Goncharova E., Rykunova M., Kalatozi E. Comparative evaluation of the activity of commercial biocides in relation to micromycetes // В сборнике: AIP Conference Proceedings 14. Сер. «Prospects of Fundamental Sciences Development, PFSD 2017 – Proceedings of the XIV International Conference of Students and Young Scientists» 2017. С. 050006.

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХЭФФЕКТИВНЫХ БЕТОНОВ

Погорелова И.А., канд. техн. наук, доцент,
Малоюкова М.В., канд. техн. наук, ст. преподаватель,
Корякина А.А., аспирант
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Применение сверхэффективных бетонов позволяет уменьшить габариты опалубки для колонн, балок и стеновых элементов, увеличить несущую способность конструкций. Применяются при высотном строительстве, возведении мостов, устройстве промышленных напольных покрытий, а также в современном методе 3D - печатной опалубки.

Ключевые слова: сверхэффективные бетоны, УНРС-ультравысокоэффективный бетон, декоративные материалы, композиционные материалы, опалубка, малые архитектурные формы.

В последние годы серьезно вырос интерес к производству бетоны функционального назначения, так называемых сверхэффективных бетонов, которые по многим показателям качества соответствуют или превышают основные технологические требования и физико-механические характеристики, регламентированные стандартами. Такие бетоны в зарубежных странах получили название УНРС (Ultra-High Performance Concrete – ультравысокоэффективный бетон), на сегодняшний день это название используется и в России. Применение УНРС (рис.1) позволяет проектировать и создавать конструкции и сооружения, отличающиеся тонкостенностью конструкции, сохраняя высокую несущую способность. Особо следует отметить, что применение одного из видов УНРС позволяет проектировать конструкции практически неограниченной архитектурной формы и повышенной долговечности [1...3].

Основные преимущества УНРС (Ultra-High Performance Concrete – ультравысокоэффективный бетон):

– Ультратонкий высокопрочный бетон, как суперсовременный материал, значительно превосходит по своим свойствам аналоговые декоративные материалы, такие как традиционный железобетон и композиционные материалы, применимые на сегодняшний день в возведении декоративных конструкций [4];

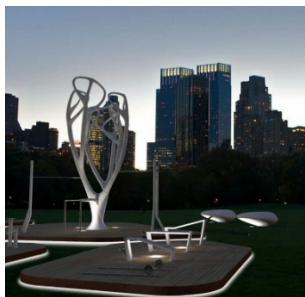


Рисунок1 - Применение УНРС на примере малых архитектурных форм

– Состав УНРС значительно отличается от бетона в стандартном понимании. Это точно рассчитанная многокомпонентная система, позволяющая формировать материал с полифункциональной матрицей, в котором преодолена одна из главных проблем бетона – низкая прочность на изгиб, за счет введения в смесь дисперсной арматуры. В конструкциях с одинаковой нагрузочной способностью УНРС необходимо в два-три раза меньше, чем обычного бетона [5...9]. Конструкции из ультравысокоэффективного бетона имеют значительно меньшую площадь поперечного сечения, больший пролет и существенно большую долговечность. Долговечность обеспечивается высокой плотностью бетона, что ограничивает распространение коррозии как самого бетона, так и стальных элементов внутри конструкции при воздействии агрессивных факторов, в том числе циклов замораживания-оттаивания.

Композиционные материалы имеют низкую ремонтпригодность и технологичность. Но при этом, в связи с необходимостью применения специальных трудоёмких методов, инструментов для доработки и

ремонта объектов, а также невозможностью (в некоторых случаях) доработки и ремонта, к недостаткам можно отнести высокую стоимость эксплуатации [10].

Композиционные материалы склонны впитывать влагу, что обусловлено несплошной внутренней структурой. При длительном сроке эксплуатации и многократных перепадах температур вода, проникающая в структуру композиционного материала, разрушает изделие.

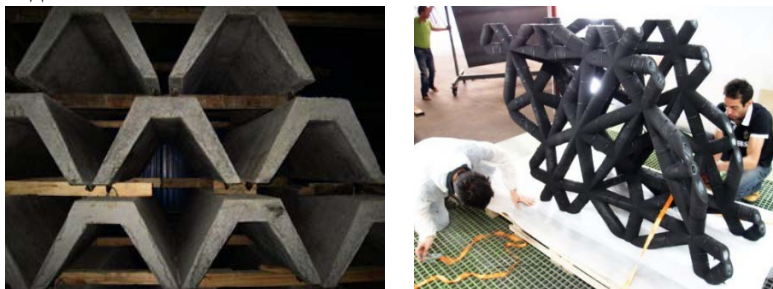


Рисунок 2 - Применение УРНС на примере конструктивных элементов

Применение традиционного железобетона при строительстве современных декоративных конструкций серьезно ограничивается дизайном конструкции, сложностями в монтаже и транспортировке (рис. 2). С эстетической точки зрения, восприятие искусственных каменных материалов, и прежде всего железобетона, связано с визуальным ощущением «каменности», тяжести. Кроме того, физико-механические характеристики не обеспечивают достаточной долговечности конструкциям.

Однако, применение ультратонкого бетона решает вопрос физико-механических и эстетических характеристик конструкции лишь частично, так как слишком многое зависит от качества лицевой поверхности, и как следствие, от опалубки. Технически верное решение при конструировании опалубки, а также правильно подобранный материал и вариант ее исполнения позволит вывести на новый уровень применение ультратонких бетонов (рис. 3).

На сегодняшний день значительное количество НИОКР направлено на внедрение в сферу архитектуры и строительства инновационных цифровых технологий [11...13]. Так как сейчас в архитектуре очень востребованы нестандартные дизайнерские решения и подходы к проектированию уникальных сооружений, в контексте одного здания

может использоваться небольшая партия геометрически сложных элементов, индивидуальных по своему конструктивному исполнению. Новаторским подходом в решение этого вопроса является 3D-печатная опалубка.

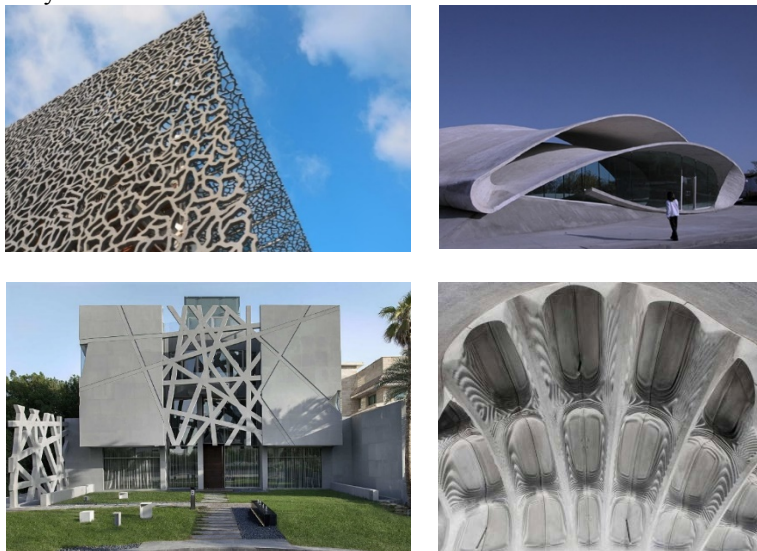


Рисунок 3 - Применение УНРС на примере декоративных элементов

Совместное применение УНРС и 3D-печатной опалубки при производстве позволит получать высокотехнологичные и архитектурно-выразительные конструктивные элементы зданий и малые архитектурные формы благоустройства территорий, позволяющие реализовать практически неограниченные концептуальные решения архитекторов и дизайнеров.

Список литературы:

1. В. Мещерин. Высокочпрочные и сверхпрочные бетоны: технологии производства и сферы применения // Журнал «СтройПРОфиль» №8. – 2008.
2. Дилленбургер. 3D-печатная опалубка для производства оптимизированной бетонной плиты // Журнал «СРІ Международное бетонное производство». №1 – 2019.
3. Sulejmanowa L.A., Lessowik W.S., Kara K.A., Lessowik G.A. Zum problem der optimisierung von porigkeit des zellbetons der

- nichtautoklaven erhärtung // В сборнике: 19-te INTERNATIONALE BAUSTOFFTAGUNG IBAUSIL 2015. 2015. С. 1343-1349.
4. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Слепухин А.С., Плехова С.И. Высокотехнологичные бетоны с использованием суперпластифицирующих добавок на основе поликарбоксилата // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 63-66.
 5. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 9-16.
 6. Сулейманова Л.А., Гридчин А.М., Малокова М.В., Морозова Т.В. Повышение архитектурной выразительности плит бетонных тротуарных // В сборнике: Научное развитие технологий и инновации Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 347-353.
 7. Гладков Д.И., Сулейманова Л.А. Общая закономерность создания строительных материалов с требуемыми свойствами // В сборнике: Современные проблемы строительного материаловедения Материалы седьмых академических чтений. 2001. С. 77-80.
 8. Сулейманова Л.А., Малокова М.В., Погорелова И.А., Корякина А.А. Формирование пространственной среды с учетом колористики // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 10. С. 62-66.
 9. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Kirilenko S.V., Suleymanov K.A. Physical basis of destruction of concrete and other building materials // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 11. Ser. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 - Simulation and Automation of Production Engineering" 2018. С. 022082.
 10. Сулейманова Л.А. Декоративные элементы как способ эстетического осмысления пространства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 109-115.
 11. Lukutsova N., Pashyan A., Khomyakova E., Suleimanova L., Kleymientieva Yu. The use additives based on industrial wasted for concrete // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 111. № 11. С. 7566-7570/
 12. Сулейманова Л.А., Огнев Н.В. Оценка возведения стен здания с помощью 3D-принтера в сравнении с традиционным строительством из бетонных блоков // Университетская наука. 2017. № 2 (4). С. 13-15.
 13. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Огнев Н.В. Особенности проектирования и возведения здания с применением аддитивных технологий строительства // Сборник докладов Zbornik Radova Visoke tehničke škole strukovnih studija г. Ниш, Сербия. 2018. С. 182-186.

РЕОЛОГИЯ МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЕНОБЕТОНА НА ОСНОВЕ БЕСЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО

Сивальнева М.Н., канд. техн. наук,

Кобзев В.А., канд. техн. наук

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Исследование реологии смесей определяет выбор режимов их перемешивания, транспортирования и формования. В связи с этим были определены реотехнологические свойства пенобетона на основе бесцементного алюмосиликатного вяжущего. В работе выявлено, что повышение вязкости, вызванное модификацией раствором поливинилового спирта, является незначительным, что не ведет к существенному изменению реологических характеристик смеси.

Ключевые слова: пенобетон, бесцементное вяжущее, реология.

Изучение реологических характеристик является важным этапом проектирования строительных материалов [1, 2], в частности пенобетонных изделий [3]. Необходимость определения поведения смесей и способности их однородно растекаться и принимать заданную форму обуславливает выбор режимов перемешивания, подачи и формования пенобетонной смеси. Проведение данных мероприятий позволит повысить качество изделий за счет уменьшения зависимости от внешних воздействий и колебаний технологических параметров в процессе производства, а также будет способствовать стабилизации основных эксплуатационных характеристик готовых изделий.

Объектом исследования в данной работе являются пенобетонные смеси, полученные на основе бесцементной высококонцентрированной алюмосиликатной вяжущей суспензии (ВАВС) [4].

Сначала были рассмотрены три способа приготовления пенобетонных смесей на основе ВАВС (рисунок 1).

Первый способ состоит из нескольких стадий и заключается в предварительном приготовлении пены на максимальных оборотах лабораторной мешалки (1000 об./мин.). Далее был приготовлен 5-% раствор поливинилового спирта (ПВС) и смешан с вяжущим компонентом, который вводился в пену. При этом скорость вращения мешалки снижена до 200–300 оборотов в минуту.

Второй способ представлен тремя стадиями:

1) активация водного раствора пенообразователя до получения однородной и густой пены;

- 2) смешение пены с раствором ПВС;
- 3) введение вяжущего.



Рисунок 1 – Способы приготовления модельных систем пенобетонных смесей на основе BABC

Быстрое введение компонентов негативно сказывается на стабильности системы, поэтому скоростной режим на разных стадиях аналогичен первому способу.

Третий способ, с технологической точки зрения, наиболее простой, так как подразумевает одновременное смешение всех компонентов. Скорость вращения рабочего ротора мешалки постепенно поднимается до максимальной (1000 об./мин.).

Визуальное наблюдение за состоянием смесей, их однородностью и стойкостью, а также определение основных свойств, как пенобетонной смеси, так и конечного изделия, не показали значительных отличий. Поэтому оптимальным способом получения пенобетона на основе бесцементного BABC следует считать третий способ, то есть одновременное перемешивание всех компонентов смеси.

Согласно данному способу были получены пенобетонные смеси и проведены реологические исследования. При этом были приготовлены модельные системы образцов двух видов при разном водотвердом отношении ($V/T = 0,35; 0,4; 0,45$ и $0,5$): немодифицированные пенобетонные смеси и модифицированные раствором поливинилового спирта.

Исследования проводились на ротационном вискозиметре Rheotest RN4.1 (Центр высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова). Результатом работы прибора являются реограммы, отображающие поведение систем в период начала вращения рабочего ротора до максимально заданной скорости (120 об./мин.), время съемки составляло 60 секунд.

Исследование показало, что пробы на всем диапазоне измерения (градиент скорости сдвига от 5 до 25 c^{-1}) характеризуются свойственным для данных систем тиксотропным типом течения с плавным снижением вязкости (рисунок 2).

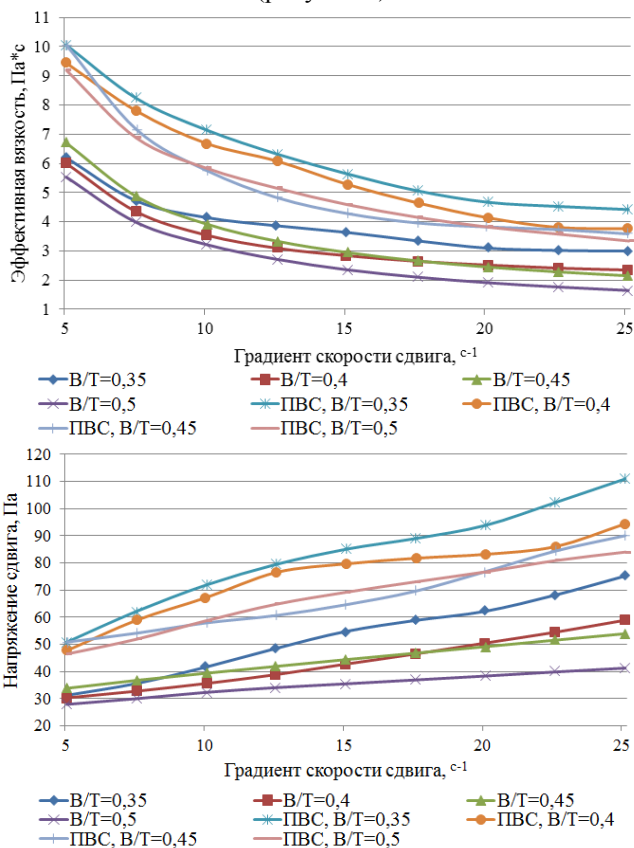


Рисунок 2 – Реограммы пенобетонных смесей на основе ВАВС при разном водотвердом отношении

Результаты всех составов немодифицированных пенобетонных смесей на основе бесцементного ВАВС при различном водотвердом отношении схожи и не имеют значительных отличий. Первоначальная вязкость данных образцов находится в диапазоне 5,5–6,7 Па·с. С ростом градиента скорости сдвига вязкость уменьшается, и графики

выполаживаются. Как и следовало ожидать, снижение вязкости обусловлено изменением водотвердого отношения в следующей последовательности: $V/T=0,35 \rightarrow 0,4 \rightarrow 0,45 \rightarrow 0,5$. Однако образец, представляющий собой смесь с $V/T= 0,45$, имеет более высокую начальную вязкость, но разница не велика и составляет около 7 %, что можно отнести к погрешности измерения.

Модифицирование пенобетонных смесей раствором ПВС привело к повышению вязкости системы до 38 %. При этом тип течения и поведение смесей не меняется и зависит от водотвердого отношения.

Таким образом, повышение вязкости, вызванное модификацией, является незначительным, что не ведет к существенному изменению реотехнологических свойств готовых растворных масс пенобетона на основе бесцементного алюмосиликатного вяжущего. Следовательно, технологические сложности при транспортировании смесей к пунктам формирования будут отсутствовать.

Работа выполнена в рамках реализации Стипендии Президента СП-2116.2018.1.

Список литературы:

1. Строкова В.В., Нелюбова В.В., Бондаренко А.И., Кобзев Е.В. Реотехнологические свойства суспензий механоактивированных кварцевых компонентов и композиционных вяжущих на их основе // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 31–2 (50). С. 179–185.
2. Рыкунова М.Д., Нелюбова В.В., Строкова В.В. Особенности реологии цементных паст с компонентами активного действия // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2017. № 8. С. 98–100.
3. Нелюбова В.В., Алтынник Н.И., Строкова В.В., Подгорный И.И. Реотехнологические свойства ячеистобетонной смеси с использованием наноструктурированного модификатора // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 2. С. 58–61.
4. Кобзев В.А., Сивальнева М.Н., Нелюбова В.В. Высококонтрированная алюмосиликатная вяжущая суспензия из гранодиорита // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 1. С. 12–18.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ ИЗ МАЛОПЛАСТИЧНОГО НЕСПЕКАЮЩЕГОСЯ СЫРЬЯ

Столбоушкин А.Ю., д-р техн. наук, профессор,
Фомина О.А., канд. техн. наук,
Актст Д.В., аспирант

Сибирский государственный индустриальный университет

Аннотация. Разработаны модели структуры строительного керамического матричного композита на основе малопластичного неспекающегося техногенного и природного сырья. Макроструктура материала состоит из матрицы, сформированной из легкоплавкой глинистой компоненты шихты, и ядер, сформированных из неспекающегося техногенного сырья. Представлена модель формирования переходного слоя из продуктов взаимодействия оболочки и ядра керамического матричного композита.

Ключевые слова: керамический матричный композит, дисперсионная среда, дисперсная фаза, переходный слой, граница раздела фаз.

На современном этапе развития технологии строительных материалов можно выделить следующие основные предпосылки получения новых видов керамических изделий матричной структуры:

- сокращение запасов качественного глинистого сырья;
- повышение эффективности технологии компрессионного формования керамических строительных материалов [1];
- необходимость в утилизации техногенных минеральных отходов, по своим свойствам близким к неспекающемуся малопластичному глинистому сырью;
- развитие теоретических основ формирования керамических изделий полусухого прессования отечественной научной школой керамики.

«Классические» способы производства строительных керамических материалов из природного сырья неэффективны при переработке тощих суглинков и техногенных отходов, а получаемые изделия не обладают необходимыми эксплуатационными и эстетическими свойствами. Поэтому актуальной является разработка теоретических основ формирования рациональной структуры композиционных материалов из техногенного сырья, результатом которой станут новые технологии производства строительных материалов.

В соответствии с разработанной теоретической моделью [2] керамические матричные композиты можно получить путем «укрупнения» дисперсных частиц отходов в отдельные агрегаты, покрытием их глинистым веществом с последующим прессованием изделий, их сушкой и обжигом. Такая технология позволит сформировать пространственный ячеистозаполненный каркас. При обжиге дисперсионная среда будет продуцировать жидкую фазу, которая внедрится в периферийную зону дисперсной фазы (рис. 1) и после кристаллизации образует прочную матричную структуру.

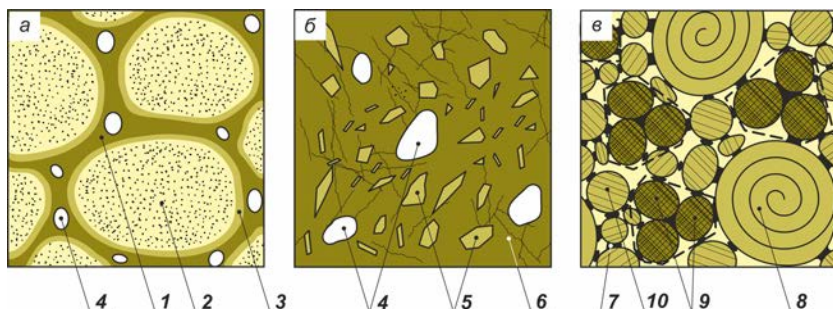


Рисунок 1 - Модели макроструктуры керамического матричного композита (а), микроструктуры его матрицы (б) и ядер, сформированных из непластичного неспекающегося сырья (в): 1 – матрица (наполненное связующее); 2 – ядро (агрегированный наполнитель); 3 – переходный слой между матрицей и ядром; 4 – поры; 5 – наполнитель матрицы (кристаллическая фаза); 6 – связующее матрицы (стекловидная фаза); 7 – пиропластичная фаза; 8 – укрупненные агрегаты частиц; 9 – кластеры; 10 – не агрегированные частицы

Сформированный таким образом керамический матричный композит из техногенного сырья будет иметь полиструктурное строение [3]. При этом гранулы из отходов выступают в роли наполнителя и образуют систему второго уровня. После прессования и обжига опудривающий слой, сформированный из глины, будет представлять собой наполненное связующее и образует систему первого уровня.

По определению композиционные материалы неоднородны в микромасштабе и однородны в макромасштабе [4]. Проведенные ранее исследования строительной керамики на основе техногенных отходов

показывают, что равномерное распределение элементов микроструктуры материала после обжига практически недостижимо [5].

Согласно модели формирования структуры керамического матричного композита из техногенного сырья аморфизированное вещество, образующееся за счет легкоплавких примесей, будет соединять зерна кристаллических фаз между собой.

Теоретически можно предположить, что структура наполненного связующего, содержащего стеклофазу (матрица – 1, рис. 1, *а*) и образующего пространственный ячеистозаполненный каркас матричного композита, в свою очередь, должна иметь внутреннее «армирование». Для матрицы внутренний армирующий каркас будет формироваться из реликтовых порообразующих минералов типа кварца, полевых шпатов и др., а также минеральных фаз, вновь образованных в результате высокотемпературного синтеза при обжиге керамики (рис. 1, *б*).

В процессе формирования ядер при получении керамических матричных композитов путем «укрупнения» дисперсных частиц техногенного сырья в гранулы упорядоченное распределение микроструктурных элементов техногенных отходов возможно только в отдельных локальных зонах. В процессе грануляции по сечению гранул будут формироваться агрегаты частиц, связанных поверхностными силами, кластеры – группы частиц, склеенных связкой из жидкой фазы, и индивидуальные не агрегированные частицы (поз. 8, 9, 10, рис. 1, *в*).

Такое сырьевое строение гранул будущего композиционного материала в дальнейшем обеспечит наилучшее сочетание эксплуатационных свойств, прежде всего, прочности и водопоглощения за счет плотной упаковки частиц при грануляции. Однако, достижение необходимого результата возможно только при условии оптимального насыщения внутренней системы ядра пиропластичным связующим, обеспечивающим плотную «контактную сварку» частиц твердой фазы при обжиге (пиропластичная фаза – 7, рис. 1, *в*).

Теоретически взаимодействие микроструктурных элементов гранулированных техногенных отходов при обжиге (процесс спекания) может протекать как через вязкий, обычно стекловидный, расплав (жидкофазное спекание), так и при непосредственном контакте твердыми поверхностями (твердофазное спекание).

Принимая во внимание то обстоятельство, что максимальная температура обжига строительной керамики обычно не превышает 1000-1050°C, формирования значительного количества жидкой пиропластичной фазы обычно не происходит. Поэтому в масштабах

гранулы процесс протекает по схеме твердофазного спекания, при этом, как правило, полного спекания ядер не происходит (эффект недоспеченных ядер или конгломератов).

Таким образом, для достаточного внутреннего насыщения гранул пиропластичной связкой, объединяющей агрегаты, кластеры и отдельные частицы в единую систему, в зависимости от вещественного состава и технологических свойств неспекающегося техногенного сырья в ряде случаев может потребоваться искусственное обогащение техногенных отходов корректирующими добавками легкоплавкой глины или плавня. Учитывая незначительный объем жидкой фазы, необходимой для спекания структурных элементов заполнителя в местах их контакта друг с другом по типу «точечной сварки», количество добавки не должно превышать 7-10 % от общего объема гранулируемого сырья.

Напротив, в граничном слое при определенных условиях, связанных с образованием значительного количества низкотемпературной эвтектики за счет введения плавней или химического взаимодействия компонентов оболочки с продуктами разложения термоактивных компонентов гранул, можно предположить преимущественное развитие схемы жидкофазного спекания в матрице композита.

При разработке теоретической модели отдельно стоит остановиться на формировании переходного слоя между матрицей и ядром композита (поз. 3, рис. 1, *a*). В общем виде механизм взаимодействия между матрицей и заполнителем керамического композита может быть двух типов [6]. Не рассматривая первый тип, без образования переходного слоя, предположим, что процесс формирования внутренних поверхностей раздела фаз или компонентов будет затрагивать приграничные зоны дисперсной фазы (гранулы из дисперсных частиц) и дисперсионной среды (матрицы из легкоплавкой глины). В этом случае сформированная внутренняя поверхность раздела фаз в композите будет относиться к типу, характеризующемуся переходным слоем (рис. 2).

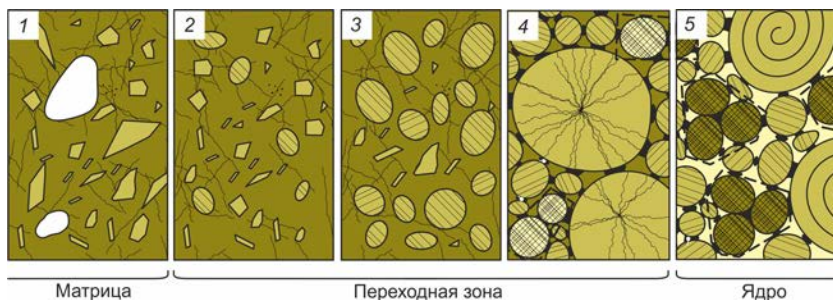


Рисунок 2 - Модель формирования переходного слоя из продуктов взаимодействия оболочки и ядра керамического матричного композита: 1 – матрица (оболочка); 2 – переходная зона со стороны оболочки; 3 – центральная область переходной зоны; 4 – переходная зона со стороны ядра; 5 – ядро

В процессе обжига переходный слой сформируется из продуктов взаимодействия компонентов матрицы и ядра (гранулированный наполнитель) и имеет свойства, отличающиеся от свойств исходных материалов [6].

Проведенные экспериментальные исследования [7] подтвердили адекватность разработанной модели строительного керамического матричного композита. Установлено взаимодействие матричной оболочки с силикатными и оксидными фазами ядра, что обеспечивает высокую прочность композита после обжига. Например, прочность строительной керамики с матричной структурой из непластичных шламов обогащения железных руд (70-80 % по массе) и суглинка (20-30 % по массе) при суммарном содержании глинистых 5-6 % по массе составляет 15-24 МПа после обжига при 1050°C, что превышает аддитивную прочность керамического материала после обжига смеси компонентов в 1,5-2 раза.

Результаты исследования получены в рамках выполнения госзадания Минобрнауки РФ, шифр проекта № 7.7285.2017/8.9 «Фундаментальные исследования в области строительных керамических композиционных материалов с матричной структурой на основе техногенного и природного сырья».

Список литературы:

1. Ашмарин Г.Д., Курносов В.В., Беляев С.В., Ласточкин В.Г. Обоснование эффективности компрессионного формования керамических строительных материалов // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 8–9.
2. Столбоушкин А.Ю. Теоретические основы формирования керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 10–13.
3. Хрулев В.М., Тентиев Ж.Т., Курдюмова В.М. Состав и структура композиционных материалов. – Бишкек: Полиглот, 1997. 124 с.
4. Композиционные материалы: справочник / под ред. Д.М. Карпиноса. – Киев: Наукова думка, 1985. 592 с.
5. Столбоушкин А.Ю. Формирование прочной структуры керамического кирпича на основе шламистой части хвостов обогащения железных руд // Комплексное использование минерального сырья. 1993. № 2. С. 80–84.
6. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. – М.: Мир, 1982. 336 с.
7. Столбоушкин А.Ю., Верещагин В.И., Фомина О.А. Фазовый состав переходного слоя ядро–оболочка строительной керамики матричной структуры из непластичного сырья с добавками глины // Стекло и керамика. 2019. № 1. С. 19–25.

САНИТАРНАЯ КЕРАМИКА С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО КАОЛИНА

Сыса О.К., канд. тех. наук, доцент,
Локтионов В.А., аспирант,
Шакурова Н.В., аспирант,
Сыса Е.В., студент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Исследовано влияния гидротермальной обработки на структуру журавлинолого каолина. Разработаны составы санитарных керамических масс на его основе. Использование гидротермальной обработки каолина положительно влияет на его упорядоченность структуры, реологические свойства шликеров и повышает качество изделий.

Ключевые слова: каолин, санитарная керамика, гидротермальная обработка, совершенствование структуры, литье, шликер

В настоящее время во многих областях России строятся новые заводы по производству санитарно-технических изделий, или же модернизируют старые. За счет этого наблюдается стремительный рост производства санитарной керамики.

Основной проблемой технологии санитарной керамики, на фоне увеличения требований, как к стабильности технологического цикла, так и к качеству выпускаемой продукции, является непостоянство свойств и истощение запасов высококачественного сырья. В технологии санитарных керамических изделий в настоящее время зачастую используется импортное сырье, добываемое в странах Европы, а также на Украине.

Практически единственным отечественным источником каолинового сырья, которое может успешно конкурировать с украинскими материалами, является каолин месторождения Журавлиный Лог, расположенного на Урале (Челябинская обл.), за счет эффективной технологии добычи, обогащения сырца, а так же постоянного контроля качества изготавливаемой продукции [1].

Следует отметить, что в настоящее время производство санитарной керамики заинтересовано так же и в возможности управления структурно зависимыми свойствами глинистых материалов. Осуществление которой возможно методами гидротермальной

обработки или запарки глин, как наиболее эффективными способами модифицирования их структуры [2].

Целью данной работы являлось исследование влияния гидротермальной обработки на структуру и свойства журавлинологского каолина и разработка составов санитарных керамических масс на его основе.

Установлено [3] что, наличие в журавлинологском каолине галлуазита, а также каолинита с несовершенной кристаллической решеткой, характеризующихся повышенной адсорбционной способностью, является причиной нестабильности его литевых характеристик. При гидротермальной обработке каолина Журавлиный Лог наблюдалось изменение характера рентгеновских дифракционных картин в областях с отражениями $d(A)=4,20-4,47; 2,49-2,57; 2,29-2,39$, а так же увеличение индекса кристалличности по Хинкли (табл.1), что свидетельствует об упорядочении каолинита.

Таблица 1- Индекс кристалличности каолинита по Хинкли (C_h)

Каолин	обработка	C_h
«Журавлиный лог»	необр.	0,62
	автоклавир	0,69

В данной работе в качестве сырьевых материалов использовались применяемые на ЗАО «Сызранская керамика» каолин месторождения Журавлиный Лог и импортный каолин Арформ КС-1, глина Веско-Гранитик, глина SS, полево шпат Вишневогорского месторождения, пегматит Малышевского месторождения, кварцевый песок и бой.

Для проведения исследований были приготовлены многокомпонентных шликеры, с использованием необработанного (массы под номерами 2,3,4) и автоклавированного (массы №4,5,6) каолина месторождения Журавлиный Лог, которым заменяли заводской каолин Арформ с шагом 10%, а так же масса заводского состава.

Установлено, что гидротермальная обработка каолина месторождения Журавлиный Лог положительно влияет на реологические свойства многокомпонентных шликеров. Коэффициент загустеваемости шликеров с процентным содержанием журавлинологского каолина 10, 20 и 30% без гидротермальной обработки составляет 1,55, 1,43 и 1,36, соответственно. При использовании в массе автоклавированного каолина Журавлиный Лог, в

таких же процентных соотношениях, коэффициент загустеваемости снижается до 1,38-1,18.

Замена каолина Арформ на журавлинологский, прошедший гидротермальную обработку, приводит к ускорению набора черепка, что свидетельствует об улучшении литевых и фильтрационных свойств шликера (рис.1).

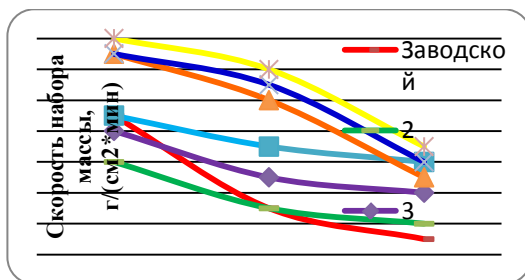


Рисунок 1 - Зависимость скорости набора массы от времени

Можно предположить, что более упорядоченная, бездефектная структура каолина Журавлиный Лог, имеет меньше активных центров, способных удерживать молекулы воды, что и приводит к ускорению процесса фильтрации межслоевой воды из шликерных масс при отливке изделий.

Из многокомпонентных шликеров были изготовлены образцы-кубики с размером 30×30×30 мм методом литья шликеров в гипсовые формы. После обжига при максимальной температуре 1200°C определялись физико-механические характеристики (рис. 2-4).

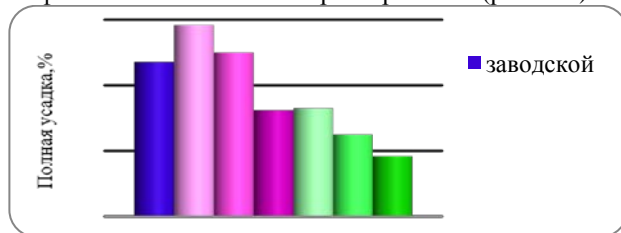


Рисунок 2 - Зависимость полной усадки от содержания в массе каолина

С увеличением процентного содержания российского необработанного каолина Журавлиный Лог, полная усадка

незначительно растет, но у массы, содержащей 30% данного компонента уменьшается в 1,5 раза. Усадочные показатели с увеличением содержания гидротермально-обработанного каолина значительно снижаются. Минимальная полная усадка наблюдается у образцов, изготовленных из масс, содержащих 30% автоклавированного каолина месторождения Журавлиный Лог.

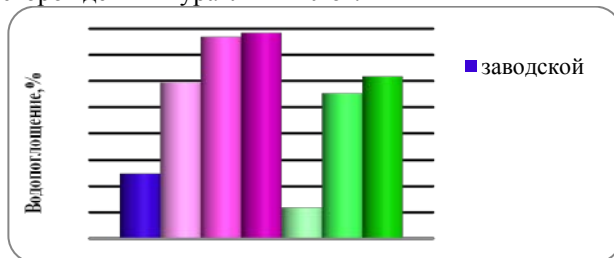


Рисунок 3 - Зависимость водопоглощения от содержания в массе каолина

При замене исходного каолина на журавлинологский водопоглощение увеличивается, с увеличением его процентного содержания. Однако, по сравнению с водопоглощением образцов, на основе каолина Журавлиный Лог без обработки, показатели образцов на основе модифицированного отечественного каолина ниже. Скачок значений водопоглощения между образцами из масс, содержащих обработанный каолин, можно объяснить тем, что при максимальной температуре обжига произошло образование легкоплавких эвтектик именно при данном (10% автоклавированного каолина) содержании компонентов.

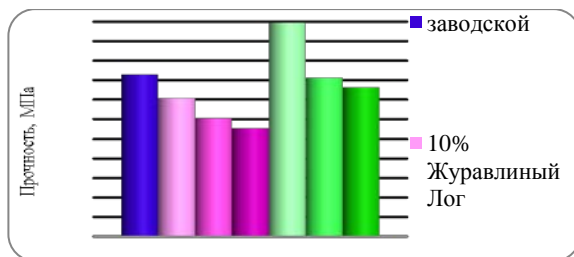


Рисунок 4 - Зависимость прочности при сжатии от содержания в массе каолина

При замене заводского каолина на отечественный каолин без обработки прочностные показатели понижают свое значение. Максимальное значение прочности наблюдается у состава, содержащего 10% автоклавированного каолина Журавлиный Лог и составляет 109,6 МПа, что на 25% выше, чем у заводского. Однако при увеличении количества каолина, подверженного гидротермальной обработке, до 20 и 30% прочность снижается на 2-8%.

Установлено, что для производства санитарно-керамических изделий оптимальным является состав №5, содержащий 10% автоклавного каолина Журавлиный Лог. Образцы, отформованные из этого состава, имеют наилучшие показатели физико-механических свойств и относятся к полуфарфоровым по ГОСТ 15167-93. Водопоглощение разработанных составов № 2,3,4 и 6 составляет от 5,53% до 7,85%. Изделия на основе таких масс относятся к фаянсовым, и могут так же использоваться для производства санитарно-керамических изделий.

Таким образом, было выявлено, что использование гидротермальной обработки для глинистого сырья положительно влияет на его упорядоченность структуры и реологические свойства, повышает качество изделий.

Внедрение в производство санитарных керамических изделий на ЗАО «Сызранская керамика» каолина месторождения Журавлиный Лог, при достижении стабилизации его свойств, позволит снизить расходы на сырьевые материалы, и тем самым уменьшить себестоимость отечественного продукта, повысив его конкурентоспособность.

Список литературы:

1. Масленникова Г.Н., Солодкий Н.Ф., Солодка М.Н., Шамриков А.С. Использование каолинов различных месторождений в производстве тонкой керамики // Стекло и керамика. 2004. №8. С. 14-24.
2. Сыса О.К. Морева И.Ю. и др. Особенности гидротермальной и бактериальной обработки глинистого сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 173-176
3. Рентгеновские методы изучения структуры глинистых минералов/ Под ред. Г. Брауна. М.: Мир. 1965. 600 с.

МАЛОЭНЕРГОЕМКИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ СЫРЬЕВЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЛИНКЕРА

**Таймасов Б., д-р техн. наук, профессор,
Жаникулов Н.Н., PhD докторант**
*Южно-Казахстанский государственный
университет им. М.Ауэзова*

Аннотация. В работе в качестве сырья для получения клинкеров общестроительных и специальных цементов были изучены сырьевые материалы цементного завода ТОО «Стандарт Цемент», а также нетрадиционные материалы и отходы промышленности – отход угледобычи, тефритобазальт и свинцовый шлак. Изучены химический и минералогический состав материалов. Выполнены расчеты сырьевых смесей. Установлено, что на исследованном сырье и отходах возможно получение цементных клинкеров по малоэнергоемким технологиям.

Ключевые слова: нетрадиционное сырье, обжиг, клинкерообразование, портландцемент, энерго- и ресурсосбережение.

Портландцемент – энергоемкий продукт. На выпуск 1 т цемента затрачивается около 5 т различных материалов: сырья, добавок, топлива, воды, воздуха, смазочных и огнеупорных материалов, мелющих тел и т.д. В настоящее время три казахстанских цементных завода работают по топливеемкому мокрому способу производства, при котором расход топлива на обжиг клинкера составляет 220 – 240 кг/т. Расход условного топлива при сухом способе составляет 110 – 120 кг/т клинкера. В Казахстане не развито потребление альтернативного топлива и отходов. Это приводит к постепенному истощению запасов невозобновляемых источников топлива. Анализ себестоимости цементов показывает, что доля топлива составляет до 30-45 %, электроэнергии - 12-17 %, а в себестоимости клинкера доля затрат на топливо и электроэнергию еще выше. Поэтому проблема снижения расхода топлива на процесс обжига, особенно при мокром способе, является актуальной [1, 2]. Кроме этого, топливосбережение – это вопрос выживания старых заводов мокрого способа в конкуренции на рынке цемента.

На наш взгляд, проблема энергосбережения на цементных заводах Казахстана может решаться в нескольких направлениях, в том числе:

- использование в качестве сырьевых материалов техногенных продуктов, прошедших тепловую обработку в основном процессе и содержащих некарбонатную известь, например электротермофосфорные, доменные, свинцовые шлаки, и др.;

- использование отходов угледобычи и углеобогащения, содержащих в своем составе некоторое количество несгоревшего угля;
- использование в качестве сырьевых материалов магматических пород, позволяющих снизить температуру процессов клинкерообразования;
- использование техногенных продуктов оказывающих минерализующее действие на процесс спекания клинкера [3-4].

Для повышения эффективности производства и снижения расхода топлива на обжиг цементного клинкера предлагается вместо традиционного глинистого компонента использовать отходы угледобычи угольных шахт г.Ленгер и магматическую породу тефритобазальт. Тефритобазальт ввиду значительного содержания оксидов кремния и железа полностью заменяет глинистый компонент, а также частично или полностью заменяет дефицитную корректирующую добавку – пиритные огарки. Тефритобазальты являются высоко реакционноспособными магматическими породами, позволяющими снизить температуру обжига клинкера на 50 – 100 °С [5-6]. Свинцовый шлак содержит до 40 % железа и может заменить корректирующую добавку. Кроме этого в нем содержатся оксиды цинка, являющиеся минерализаторами обжига клинкера.

Химический состав сырьевых материалов, отходов промышленности и магматических пород, определенный по ГОСТ 5382-91 [7] приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав сырьевых материалов, отходов промышленности и магматических пород

Материалы и отходы	Химический состав, масс.%						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ппп
Традиционное сырье							
Известняк Каракус	3,87	1,04	0,57	52,83	0,88	0,10	40,71
Лесс Отырар	40,02	8,53	2,81	21,62	3,62	0,16	19,12
Песок Каракудук	75,72	6,70	1,66	1,79	4,89	0,08	5,5
Огарки	17,81	4,25	62,23	4,21	3,71	-	7,79
Нетрадиционное сырье и отходы промышленности							
Тефритобазальт	45,54	10,7	8,53	10,66	6,95	0,2	7,92
Свинцовый шлак	25,94	6,44	37,25	14,71	6,15	0,04	0,1
Отход угледобычи	55,50	10,60	2,01	3,21	0,70	0,79	24,08

Отход угледобычи+тефритобазальт (1:1)	50,52	10,65	5,27	6,93	3,83	0,49	16,0
---------------------------------------	-------	-------	------	------	------	------	------

Расчеты сырьевых смесей для получения портландцементного клинкера проводили в программе «ROCS - расчет и оптимизация цементных сырьевых смесей» разработанной П. Трубаевым в БГТУ им. В.Г. Шухова [8]. При выполнении расчетов использовали химический состав исходных сырьевых материалов и добавок, приведенный к 100%. Программа позволяет определить процентный вещественный состав сырьевой смеси при заданных величинах коэффициента насыщения и силикатного модуля, теоретический удельный расход сырьевых компонентов на 1 т клинкера, химический состав сырьевой смеси, величину глиноземного модуля смеси и клинкера, расчетный химический и минералогический состав получаемого цементного клинкера.

Выполнено несколько серий расчетов трех и четырех компонентных сырьевых смесей на основе природного сырья, используемого в ТОО «Стандарт Цемент», нетрадиционного сырья и отходов промышленности.

Выполнены расчеты следующих партий сырьевых шихт:

1 Известняк + лесс + песок + огарки;

2 Известняк + (отход угледобычи+тефритобазальт 1:1) + свинцовый шлак;

При подборе составов сырьевых смесей коэффициент насыщения (КН) изменяли от 0,85 до 0,95, силикатный модуль от 1,7 до 3,5. При этом величина глиноземного модуля изменяется в зависимости от вида компонентов, силикатного модуля и КН от 1,0 до 2,5.

В 1 серии сырьевых смесей «Известняк+лесс+песок+огарки» содержание огарок составляет 1,53-3,18 %. Повышение величины силикатного модуля от 2,2 до 3,10 приводит к постепенному снижению доли пиритных огарок от 3,18 до 1,53 %. Глиноземный модуль возрастает от 1,01 до 1,40. Содержание трехкальциевого алюмината в клинкерах составляет 4,67-6,10 %. Эти клинкера пригодны для получения низкоалюминатных специальных сульфатостойких цементов [9].

Во 2 серии смесей традиционная железистая добавка – огарки - были заменены на свинцовые шлаки Шымкентского свинцового завода. Содержание оксида железа в шлаках ниже, чем в огарках. Поэтому процентное содержание свинцового шлака в сырьевой смеси выше и составляет 1,87-3,86 %. Аналогично 1 серии смесей повышение силикатного модуля приводит к постепенному возрастанию глиноземного модуля от 1,08 до оптимальный 1,3-1,4.

Таблица 2 - Химический состав традиционных сырьевых смесей и удельный расход сырья (Известняк + лесс + песок + огарки)

Смеси	Состав сырьевой смеси, мас. %				Удельный расход сырья, т/т клинкера				КН	Модули		Химический состав сырьевой смеси, мас. %								
	известняк	лесс	песок	огарки	известняк	лесс	песок	огарки		n	p	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ппп	прочие	
1	67,86	30,15	0,12	1,88	1,021	0,453	0,001	0,028	0,85	2,6	1,4	15,11	3,37	2,40	42,45	1,76	0,12	33,54	1,25	
2	69,72	27,02	0,07	3,18	1,053	0,408	0,001	0,048	0,92	2,2	1,01	14,13	3,17	3,14	42,81	1,71	0,11	33,80	1,12	
3	70,02	28,10	0,11	1,77	1,061	0,425	0,001	0,026	0,92	2,6	1,4	14,35	3,21	2,29	43,15	1,70	0,12	34,02	1,16	
4	74,46	18,32	5,68	1,53	1,132	0,278	0,086	0,023	0,92	3,1	1,4	14,79	2,78	1,99	43,47	1,65	0,11	34,25	0,96	
5	70,63	27,49	0,14	1,74	1,072	0,417	0,002	0,026	0,94	2,6	1,4	14,15	3,16	2,26	43,33	1,69	0,11	34,15	1,14	

Таблица 3 - Химико-минералогический состав клинкеров на основе традиционных сырьевых смесей (Известняк + лесс + песок + огарки)

Смес и	Химический состав клинкера, масс. %							КН	Модули		Минералогический состав, масс. %					ЖФ при 1450 °С	ТЭЖ, ккал/кг	G _{топл.} , кг усл. топл/т кл	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	прочие		n	p	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄				MgO кл
1	22,74	5,06	3,62	63,87	2,65	0,17	1,88	0,85	2,6	1,4	47,49	29,38	7,30	11,01	0,30	2,65	25,98	373,9	216,9
2	21,35	4,79	4,74	64,68	2,59	0,17	1,69	0,92	2,2	1,01	61,60	14,74	4,67	14,43	0,29	2,59	27,62	386,4	219,7
3	21,75	4,86	3,47	65,39	2,58	0,17	1,76	0,92	2,6	1,4	62,78	15,01	7,01	10,57	0,30	2,58	24,98	389,9	220,9
4	22,49	4,23	3,02	66,10	2,51	0,16	1,46	0,92	3,1	1,4	64,92	15,52	6,10	9,20	0,28	2,51	22,02	391,8	221,7
5	21,49	4,80	3,43	65,81	2,56	0,17	1,73	0,94	2,6	1,4	66,92	11,13	6,92	10,44	0,30	2,56	24,69	394,3	222

Таблица 4 - Химический состав малоэнергоемких трехкомпонентных сырьевых смесей и удельный расход сырья (Известняк + (отход угледобычи+тефритобазальт 1:1) + свинцовый шлак)

Смеси	Состав сырьевой смеси, мас. %			Удельный расход сырья, т/т клинкера			КН	Модули		Химический состав сырьевой смеси, мас. %									
	известняк	Отход угледобычи+тефритобазальт (1:1)	Свинцовый шлак	известняк	Отход угледобычи+тефритобазальт (1:1)	Свинцовый шлак		n	p	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ппп	прочие		
1	76,41	21,67	1,92	1,167	0,331	0,029	0,89	2,61	1,40	14,40	3,23	2,29	42,15	1,62	0,18	34,58	1,55		
2	76,62	21,43	1,96	1,171	0,327	0,029	0,90	2,6	1,3	14,30	3,20	2,29	42,25	1,62	0,18	34,62	1,54		
3	76,36	19,78	3,86	1,161	0,300	0,058	0,92	2,3	1,08	13,95	3,15	2,92	42,28	1,67	0,17	34,25	1,61		
4	77,23	20,71	2,06	1,183	0,317	0,031	0,93	2,57	1,36	13,99	3,14	2,30	42,54	1,60	0,18	34,75	1,50		
5	77,51	20,62	1,87	1,189	0,316	0,028	0,94	2,6	1,40	13,90	3,12	2,22	42,65	1,59	0,18	34,85	1,48		

Таблица 5 - Химико-минералогический состав клинкеров на основе малоэнергоемких трехкомпонентных сырьевых смесей (Известняк + (отход угледобычи+тефритобазальт 1:1) + свинцовый шлак)

Смес и	Химический состав клинкера, масс. %							КН	Модули		Минералогический состав, мас. %					ЖФ при 1450 °С	ТЭК, ккал/кг	G _{топл} , кг усл. топл/т кл	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	прочие		n	p	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ A F	CaS O ₄				MgO
1	22,02	4,93	3,50	64,43	2,48	0,28	2,37	0,89	2,61	1,40	56,01	20,87	7,14	10,66	0,48	2,48	25,16	399,5	223,9
2	21,87	4,90	3,51	64,62	2,47	0,28	2,35	0,9	2,6	1,3	58,13	18,85	7,05	10,68	0,47	2,47	25,07	401,4	224,3
3	21,22	4,79	4,44	64,30	2,54	0,27	2,45	0,92	2,3	1,08	61,23	14,64	5,19	13,50	0,45	2,54	26,89	396,1	222,5
4	21,44	4,82	3,53	65,19	2,45	0,28	2,30	0,93	2,57	1,36	64,31	12,95	6,79	10,73	0,47	2,45	24,83	406,7	225,6
5	21,34	4,79	3,41	65,47	2,44	0,28	2,27	0,94	2,6	1,40	66,46	11,06	6,93	10,39	0,47	2,44	24,5	409,6	226,4

Удельный расход свинцового шлака на 1 т клинкера составляет 29-58 кг. В составе шлака содержится до 10-12 % оксида цинка, который оказывает минерализующее действие на процесс обжига клинкера. Это позволит снизить температуру обжига, повысить производительность печей и уменьшить расход топлива. Наличие в Южно-Казахстанской области трех цементных заводов: ТОО «Стандарт Цемент», АО «Шымкентцемент» и ТОО «Састобе Технолоджис» общей мощностью 3,5 млн.т позволила бы в течение некоторого времени полностью утилизировать свинцовые шлаки в технологии цемента. Таким образом был бы устранен крупный источник загрязнения окружающей среды.

Во второй серии в качестве алюмосодержащего компонента используется смесь «отход угледобычи + тефритобазальт» в соотношении 1:1, корректирующей добавкой являются свинцовый шлак.

Во второй серии огарки замены на свинцовые шлаки. Таким образом, в составе сырьевой смеси содержатся три нетрадиционных компонента, которые составляют в сумме около 25 %.

Использование двухкомпонентной алюмосодержащей добавки «отход угледобычи + тефритобазальт» комплексно решает несколько задач:

- утилизируется отход угледобычи, загрязняющий окружающую среду;

- в сырьевую смесь вносится 2-3 % несгоревшего угля, что позволяет уменьшить расход топлива на обжиг клинкера;

- введение 10-11 % тефритобазальта позволяет на 30-60 °С снизить температуру завершения процессов клинкерообразования. За счет этого снижается расход топлива и повышается производительность печи.

В зависимости от коэффициента насыщения и модулей удельный расход сырья на 1 т клинкера составляет 1525-1535 кг/т. Расход свинцового шлака составляет от 29 до 5 кг/т клинкера.

Установлены закономерности химико-минералогического состава клинкеров от величины КН и модулей. С повышением величины силикатного модуля независимо от КН увеличивается глиноземный модуль от $r=1,08$ до 1,3-1,4. При КН=0,92 содержание алита при повышении силикатного модуля возрастает от 60 до 63 %, содержание C_3A увеличивается с 5,19 до 7,14 %.

Таким образом, разработаны малоэнергоёмкие составы сырьевых смесей для получения цементных клинкеров с использованием отходов угледобычи и магматической породы – тефритобазальта.

Список литературы:

1. Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Техногенные материалы в производстве цемента: монография. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 126 с.
2. Таймасов Б.Т. Химическая технология вяжущих материалов: Учебник. - Шымкент: ЮКГУ им.М.Ауэзова, 2014.- 444 с.
3. Таймасов Б.Т., Худякова Т.М., Жаникулов Н.Н. Комплексное использование природного и техногенного сырья в производстве малоэнергоёмких цементов, Монография - Шымкент: ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2017.- 205 с.
4. Таймасов Б.Т., Планк И., Маркус Р.Мейер, Альжанова А.Ж., Калтай А.Р. Процессы клинкерообразования в малоэнергоёмких сырьевых смесях на основе отходов угледобычи. // Научные труды ЮКГУ им. М.Ауэзова. № 3 (38). 2016. – С.28-33.
5. Таймасов Б.Т., Худякова Т.М., Альжанова А.Ж. Синтез клинкеров из нестандартного сырья // Цемент и его применение. - 2014. -№ 1. – С. 138-141.
6. Таймасов Б.Т., Худякова Т.М., Альжанова А.Ж., Даулетияров М.С. Сырьевые смеси для получения тампонажных цементов из нетрадиционного сырья // Труды Межд. научно-практ. конф. «Инновационные и наукоемкие технологии в строительной индустрии». –Алматы, 2014. – С.40-45.
7. ГОСТ 5382-91. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. Введ. 1991-01-01.- М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, - 1996. – 22 с.
8. Трубаев П. Методическое руководство по применению программы «ROCS» - Белгород, БГТУ им.В.Г.Шухова, 2006. 60 с.
9. ГОСТ 22266-2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия. Введ. 2014-01-01.-М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2014. 11 с.

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕН В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕНОБЕТОНА

Тарасенко В.Н., канд. техн. наук, доцент
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. В статье изложено влияние добавок – сульфатов на основные свойства пен (устойчивость, кратность, однородность, синерезис). Для исследований были выбраны ускорители схватывания цемента с целью возможной интенсификации литьевой технологии ячеистых бетонов. Решение данной проблемы лежит в области оценки основных параметров смешения, выборе сырьевых материалов, доступности добавок и общей технологичности процесса производства.

Ключевые слова: пенная матрица, структурная неоднородность, эффективность использования, стойкость, кратность, однородность, стабильность, синерезис.

Технологическая проблема интенсификации процесса схватывания неавтоклавного пенобетона может иметь несколько путей решения: прогрев форм или повышение температуры окружающей среды или сырьевой смеси [1, 2, 3], использование ускорителей схватывания [4, 5], увеличение тонкости помола сырьевых компонентов и многое другое.

Анионные пенообразователи по сравнению с широко и повсеместно используемыми неионогенными более чувствительны к введению добавок, изменяющих реологические свойства пен. Изучение особенностей взаимодействия добавок и ионогенных пенообразователей в момент введения и последующее действие на устойчивость и синерезис является актуальной проблемой для многих малых предприятий, ориентированных на производство неавтоклавного пенобетона.

В работах [6 – 10] показано, что максимум высоты столба пены из растворов алкилсульфатов натрия соответствует определенной концентрации электролита, причем пенообразующая способность обратно пропорциональна радиусу гидратированных одновалентных катионов электролита. Увеличение заряда катиона также повышает пенообразующую способность алкилсульфатов [7]. В работе [8] показано, что введение электролитов оказывает различное влияние на стабильность пузырьков пены. Если адсорбционный слой не насыщен молекулами ПАВ, введение электролита несколько повышает стабильность пузырьков пены, что подтверждается опытами.

Для исследований были выбраны соли электролитов, ускоряющие процессы твердения бетона: сульфаты калия, натрия, магния (х.ч.). Концентрация добавок варьировалась в пределах 0,5...2 % с шагом 0,5 %. Для получения пены использовали пенообразователь «Пеностром» в рабочей концентрации 0,08 % [8, 9]. Ранее изучалось влияние хлоридов, мочевины, гидролизованных белков, латексов и т.д. на основные свойства пен с целью выявления наиболее предпочтительных добавок для использования в производстве пенобетона неавтоклавно твердения. Пенообразователь «Пеностром» представляет собой смесь сульфоната натрия с добавлением стабилизирующих компонентов. Изучено влияние добавок – электролитов сульфатов на основные характеристики пен (табл. 1).

Таблица 1 - Влияние электролитов на стойкость пен анионного пенообразователя «Пеностром» (концентрация пенообразователя 0,08 %, стойкость «чистой» пены 2-30 часа, кратность – 14,3)

Название соли	Характеристики пен при введении соли электролита, %							
	0,5		1,0		1,5		2,0	
	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность
MgSO ₄	240	14,9	2-20	16,4	1-50	16,5	1-25	16,7
Na ₂ SO ₄	340	14,8	3-10	15,1	2-10	15,7	1-45	15,7
K ₂ SO ₄	245	15,7	2-25	16,3	2-55	17,2	1-50	16,8

Оценивая действие сульфатов на основные характеристики пен (рис. 1), следует отметить, что увеличение концентрации добавки сульфата в системе негативно влияет на устойчивость пен, однако, первичный объем пены с увеличением концентрации добавки в системе в некоторых случаях возрастает на 15 – 20 %.

При введении Na₂SO₄ с увеличением концентрации меняется структура пены и при незначительном увеличении кратности с 14,3 до 15,7 стойкость уменьшается практически в два раза. При изучении влияния MgSO₄ начальная кратность увеличилась с 14,9 до 16,7, однако устойчивость с увеличением концентрации добавки в системе снизилась в 2,2 раза. При введении K₂SO₄ в количестве 0,25 – 1,0 % устойчивость пены возросла в 2,5 раза. При этом наблюдалось увеличение кратности с 15,7 до 17,2.

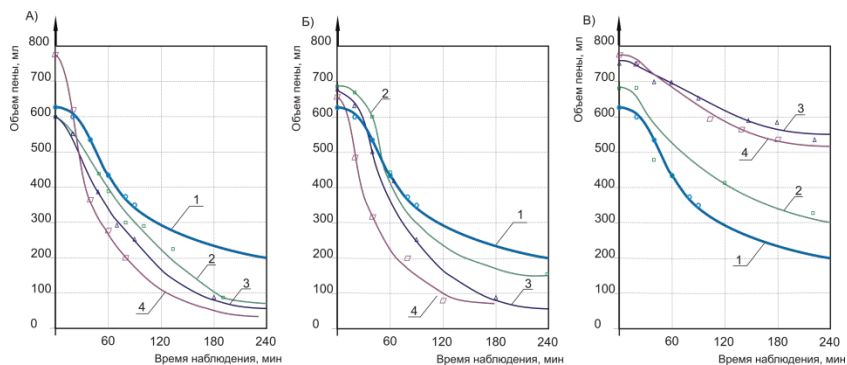


Рисунок 1 - Влияние солей электролитов на устойчивость пен пенообразователя «Пеностром», где в качестве добавки использован:
 А – Na_2SO_4 ; Б – MgSO_4 ;
 В – K_2SO_4 ; при этом концентрация добавки в системе составляла:
 1 – 0 %; 2 – 0,25 %; 3 – 0,5 %; 4 – 1,0 % от объема.

В работах А.П. Меркина и В.К. Тихомирова [1, 3, 4] показано, что максимальная кратность пен, полученных на анионных пенообразователях, достигается при определенной концентрации электролита в системе, причем пенообразующая способность обратно пропорциональна радиусу одновалентных гидратированных катионов. Причем, чем выше заряд катиона, тем выше пенообразующая способность раствора.

Изучая влияние особенностей гидролиза каждого из веществ (табл. 2), учитывали известные ранее константы диссоциации электролитов [2] и дополнительно рассчитывали константы гидролиза по формуле (1)

$$K_h = K_w / K_d , \quad (1)$$

где K_h – константа гидролиза вещества; K_w – ионное произведение воды, величина постоянная при температуре 25 °С; K_d – константа диссоциации вещества.

Гидратация ионов зависит от их свойств знака заряда (катионы гидратируются сильнее анионов), величины заряда (двухвалентные ионы гидратируются сильнее одновалентных), кристаллического

радиуса (при одинаковых зарядах чем меньше радиус, тем сильнее гидратация). В настоящее время признается лишь мономолекулярная гидратация (изменение свойств и структуры лишь одного, ближайшего к иону слоя воды). Изменения свойств следующих слоев воды, по-видимому, не настолько велики, чтобы их могли уловить существующие методы исследования.

Таблица 2 - Основные показатели исследуемых добавок

Основные показатели	Название соли		
	Na ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄	MgSO ₄
Металлический радиус, нм	0,186	0,231	0,16
Ионный радиус, нм	0,102	0,138	0,074
Плюсность заряда	9,80	7,2	27
Радиус гидратированного иона, нм	0,276	0,232	0,44
Электроотрицательность (по Полингу)	0,93	0,82	1,23
Константа диссоциации вещества K_d	59	29	$2,5 \times 10^3$
Константа гидролиза вещества K_h	$1,695 \times 10^{14}$	$0,3448 \times 10^{14}$	$0,4 \times 10^{11}$

Сульфат магния в оптимальной дозировке 1 – 1,5 % хорошо стабилизирует пену, но в жидкой фазе идет реакция выпадения в осадок гидроксида магния. В связи с этим соли магния не представляют интереса, как добавки в пенобетон. Сульфат калия в количестве 0,5 % оказывает стабилизирующее действие на пену, особенно в первый час, поэтому его можно использовать в качестве ускорителя схватывания пенобетона неавтоклавного твердения, обладающего стабилизирующим эффектом.

Влияние солей электролитов на пенную матрицу неоднозначно, в качестве добавок при производстве ячеистых пенобетонов их следует использовать, оценив предварительно возможности взаимодействия с отдельными пенообразователями, стабилизирующими и ускоряющими процесс твердения добавками. Следует учитывать, что данные, приведенные в работе, были получены с использованием анионного пенообразователя.

Список литературы:

1. Меркин А.П. Ячеистые бетоны, научные и практические предпосылки дальнейшего развития // Строительные материалы, № 5, 1995, с. 57.
2. Новый справочник химика и технолога [Электронный ресурс]: электронная книга / под. ред. Г. М. Островского [и др.]. – М.: НПО

- «Профессионал», 2007.
3. Кругляков П.М., Ексерова Д.Р. Пены и пенные пленки. – М.: Химия, 1990, 432 с.
 4. Foam Engineering: Fundamentals and Applications/ Ed. by P. Stevenson. – Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd., 2012. – 532 pp.
 5. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1983, 265 с.
 6. Тарасенко В.Н. Ячеистые бетоны в малоэтажном жилищном строительстве // в сб.: Научный поиск в современном мире. Сборник материалов 10-й международной науч.-практ. конф. 2015. С. 142 – 143.
 7. Махамбетова У.К., Солтамбеков Т.К., Естемесов З.А. Современные пенобетоны. Под ред. П.Г. Комохова. С-Пб.: Петерб. гос. ун-т путей сообщ., 1997. 157 с.
 8. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 9 – 16.
 9. Повышение эффективности производства неавтоклавных пенобетонов с заданными свойствами: дис. ... док. техн. наук: 05.23.05 / Шахова Л.Д. – Белгород, 2007. 417 с.
 10. Tarasenko V.N. Prediction of Sound Insulation of Cellular Concrete Constructions // Danish Scientific Journal, 17/2018, pp. 55 – 58.