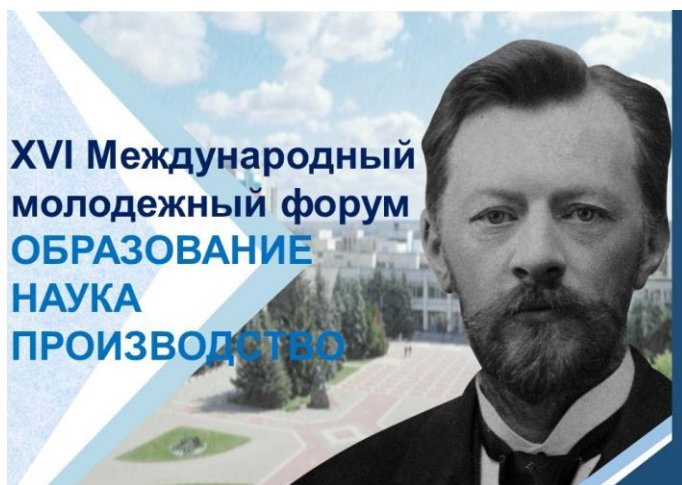


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов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



Сборник докладов

Часть 4

Проблемы строительного материаловедения

Белгород

30-31 октября 2024 г.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

**XVI Международный молодежный форум
«Образование. Наука. Производство»
[Электронный ресурс]:**
Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – Ч. 4. – 48 с.

ISBN 978-5-361-01390-6

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

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48

ISBN 978-5-361-01390-6

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

Бахарева Е.В.

Научный руководитель: Микрюкова Е.В., канд. техн. наук, доц.

Поволжский государственный технологический университет,

г. Йошкар-Ола, Россия

ЭКОЛОГИЧНЫЙ ПЛИТНЫЙ МАТЕРИАЛ ИЗ БЕРЕСТЫ

Современные строительные материалы должны быть экологичны, т.е. безопасны для человека. В этой связи особое внимание нужно уделить материалам на основе древесины, которая на протяжении веков использовалась как один из основных строительных материалов.

Другим важным моментом является утилизация древесных отходов, образующихся в большом количестве в лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности. Одним из таких отходов является древесная кора.

При переработке древесины на деревоперерабатывающих предприятиях образуется большое количество отходов в виде коры. Их приходится каким-то образом утилизировать. Если другие древесные отходы (горбыли, рейки, стружка, щепы, опилки) используются для производства разных видов продукции из измельченной древесины, то кора обычно вывозится в отвалы или используется как топливо. Существуют и иные методы ее использования, например, в химической промышленности для извлечения экстрактивных компонентов, в роли удобрений и в создании композитных материалов, однако объемы переработки в этих случаях невелики [1]. Но такие способы переработки древесной коры не имеют широкого применения.

Кора в большинстве случаев не имеет почти никакой ценности, так как она является внебалансовым отходом и при покупке-продаже круглых лесоматериалов не учитывается в их стоимости. Береста же в свою очередь занимает особое место среди древесных материалов, так как она не требует сушки перед сжиганием. Из березовой и осиновой коры получают фармакопейную смолу и деготь [2].

Наш выбор пал на березу, как на одну из лесообразующих пород Российской Федерации. Наиболее перспективным на наш взгляд способом переработки древесной коры, в частности бересты, является изготовление из нее плитного материала.

Целью данной работы было изготовление и изучение физико-механических свойств плитного материала на основе бересты.

Для изготовления образцов использовали высушенную до влажности 6% и измельченную до размера 30-50 мм кору (бересту).

Чтобы избежать обжига бересты, прессование производилось с одновременным облицовыванием шпоном, т.е. между двух листов. В качестве облицовки использовали листы березового лущеного шпона толщиной 1,5 мм. Прессование производилось в горячем прессе при температуре плит 150-170°C.

Были изготовлены 4 типа плитных материалов на основе бересты:

I тип – материал, изготовленный при температуре плит пресса 160°C,

II тип – материал, изготовленный при температуре плит пресса 150°C, имеет средний слой из шпона,

III тип – материал, изготовленный при температуре плит пресса 150°C,

IV тип – материал, изготовленный при температуре плит пресса 170°C.

Тип II отличается от остальных тем, что при его изготовлении добавлен еще один слой лущеного шпона в середине толщины. При изготовлении образца I типа было использовано на 20% меньше бересты.

Для проведения исследований были изготовлены образцы каждого типа плитного материала прямоугольной формы длиной 230 мм, шириной 50 мм и толщиной (14-15 мм), равной толщине плит (Рис. 1).



Рис. 1 – Образцы материала из бересты: без промежуточного слоя и с промежуточным слоем из шпона

Методика определения плотности образцов заключается в последовательном определении их массы и размеров, а затем соответствующего расчета. Плотность образцов плитных материалов из бересты в кг/м³ определяли по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m – масса плитного материала, кг; V – объем плитного материала, м³.

На данный вид материала нет утвержденных стандартов на испытание, поэтому мы использовали стандарт на испытание ближайшего аналогичного материала – древесностружечных плит. Определение предела прочности при изгибе проводилось в соответствии с ГОСТ 10635-88 «Плиты древесностружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе» на разрывной машине Р-10. Образец укладывался на опоры испытательного устройства так, что продольная ось образца было перпендикулярно осям опор. Далее производилось его нагружение и регистрировали максимальную нагрузку.

Предел прочности при изгибе в МПа определяли по формуле:

$$\sigma_{изг} = \frac{3F_{\max}l}{2bh^2}, \quad (2)$$

где $F_{\max}$ – максимальная нагрузка, Н; l – расстояние между центрами опор, мм; b – ширина образца, мм; h – толщина образца, мм.

Результаты расчетов плотности и предела прочности при изгибе после статистической обработки представлены в таблице.

Таблица 1 – Результаты исследования

Вид плиты	Температура прессования, °С	Плотность, ρ , кг/м ³	Предел прочности при изгибе, $\sigma_{изг}$, МПа
I	160	744,86	20,89
II	150	842,39	17,85
III	150	812,83	21,16
IV	170	800,92	34,40

Если сравнить полученные параметры с нормативными показателями плотности и предела прочности при изгибе древесностружечных плит, указанными в ГОСТ 10632-2007 «Плиты древесно-стружечные. Технические условия», то окажется, что плитный материал из бересты им соответствует. Плотность нашего материала можно регулировать количеством бересты, взятой для прессования. В данном исследовании все образцы оказались с плотностью, сопоставимой с плотностью древесностружечных плит. Это касается и предела прочности при изгибе.

Самую большую плотность 842,39 кг/м³ имеют образцы II вида, имеющие средний слой из шпона, но при этом они имеют самый низкий предел прочности при изгибе 17,85 МПа. Это можно объяснить

худшим сцеплением частиц бересты с древесиной шпона, чем между собой.

На показатель предела прочности при изгибе влияет температура прессования. В данном случае образцы IV типа, полученные при температуре 170°C показали самый лучший результат. Это может быть связано с тем, что при повышении температуры более активно происходит сцепление частиц бересты между собой за счет веществ, содержащихся в них.

Предлагаемый нами вид плитного материала из бересты является совершенно безопасным для человека, так как содержит только экологически чистые материалы: бересту и лущеный шпон. Он может быть использован как строительный конструкционный материал в основном для внутренней отделки помещений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбачева, Г.А., Санаев, В.Г., Мохачине, И.Р. Состояние и перспективы использования древесной коры / Г.А. Горбачева, В.Г. Санаев, И.Р. Мохачине // Лесной вестник. – 2020. – № 5. – С. 74-88.
2. Волынский В. Переработка и использование древесной коры // Леспротинформ. – 2012. – № 2. – С. 168-170.

УДК 69.535

Воробьев Е.Л.

Научный руководитель: Чернышева Н.В. д-р техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕМЗЫ: УНИКАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

Пемза, запасы которой практически неисчерпаемы, а уникальные физико-механические свойства делают ее весьма перспективным материалом для строительства на Дальнем Востоке России. Использование пемзы позволит значительно расширить возможности разработки эффективных строительных конструкций и внедрять инновационные решения в области планировки и проектирования, соответствующие современным научным и техническим стандартам. Это также поможет существенно снизить затраты на строительные материалы, финансовые ресурсы и энергопотребление [1].

На территории Камчатского полуострова расположены уникальные по размерам запасы, крупнейшие в мире месторождения и проявления пемз и пемзовых песков широко распространены вблизи потухших и действующих вулканов. Здесь они залегают на площади многих тысяч квадратных метров обычно в форме пирокластических покровов мощностью до 200 м, преимущественно 30-50 м. Пемзовые пески встречаются среди верхнечетвертичных аллювиальных отложений и в разрезах пород неогенового возраста. Они залегают в виде линзовидных залежей мощностью до 15 м. Запасы отложений пемз и пемзовых песков на территории Камчатского полуострова практически неограниченны. Перспективные запасы пемзовых отложений только на юге Камчатки, в районе Курильского озера, превышают 25 млрд. м³.

Месторождение «Ильинское» (Рис. 1) расположено в Южной части Камчатки, на территории Елизовского района, в бассейне р. Ильинской, на расстоянии 200 км. Район пемзовых отложений расположен у подножия действующих вулканов Ильинского и Желтовского. Месторождение входит в группу однотипных по генезису и возрасту пемзовых отложений Курильского озера. Образование пемзовых отложений Курильского озера связано с многократным излиянием пемзового материала из единого вулканического центра, после завершения вулканической деятельности.



Рис.1 – Месторождение «Ильинское»

Пемзовые отложения представлены вулканическими потоками рыхлых пород мощностью 80–100 м в среднем течении р. Ильинской, в нижнем и верхнем ее течении 10–15 м. Наиболее перспективный для освоения запасов пемзы участок расположен на левом берегу р. Ильинской, в районе ручья Водопадного. Мощность вскрышных пород менее 0,8 м. По разрезу отложений выделяются 3 горизонта пемз – нижний, средний и верхний. В свою очередь, нижний и верхний горизонты состоят из отдельных слоев. Нижний слой представлен риодацитовыми пемзовыми туфами, в котором сосредоточены

основные запасы полезного ископаемого. В этом горизонте выделены три слоя, которые не имеют четких контактов, с постепенным переходом по цвету, гранулометрическому составу и степени цементации. Средний горизонт представлен дацитовыми пемзовыми и пемзо-шлаковыми туфами. Верхний горизонт четко разделяется на три слоя. Верхний и нижний слои – это маломощные прослои шлакового гравия и песка [2].

Промышленное значение имеют две разновидности отложений: орешковая пемза и риодацитовые пемзовые туфы. Основную промышленную ценность с огромными запасами представляют пемзовые туфы с мощностью отложений 60–80 м. Риодацитовые пемзовые туфы состоят из пемзового щебня и гравия, обломков тяжелых пород и песка. Среднее содержание гравия по месторождению 39,7% и песка 60,3%. Отмечается повышенное содержание мелкозема от 8,4 до 27,9% и примеси инородных пород со средним значением 53,8%. По химическому составу пемзы представляют собой кислые вулканические стекла. Водорастворимые сернистые и сернокислые соединения практически отсутствуют. Пемзы термоактивны и нейтральны. Насыпная плотность пемзового гравия изменяется от 220 до 500 кг/м³ и равна для отдельных фракций: 20–40 мм – 260 кг/м³, 10–20 мм – 310 кг/м³, 5–10 мм – 325 кг/м³.

Месторождение «Жупановское» расположено на восточном побережье Камчатки. Отложения пемзы выявлены на участке ручья Поворотного и ручья Горячего. Отложения пемз у ручья Поворотного распространены на площади 7 км² и мощностью до 15–20 м. На ряде участков пемзы перекрыты андезитами мощностью до 15 м. Основные запасы пемзовой смеси расположены на участке ручья Горячего. Пемзовые отложения мощностью 20–40 м перекрыты 1,5–3 метровым слоем суглинков и супеси. В песчано-гравийной смеси встречается глыбовый и кусковой материал размерами до 15–70 см. и она засорена до 28% обломками андезитов и адгезитобазальтов. Пемза состоит из 86% вулканического стекла, 9% плагиоклаза, 3,5% пироксена и 1,5% магнетита. В смеси содержится 47,3% гравия и 52,7% песка. Насыпная плотность смеси при естественной влажности 960 кг/м³. Содержание кусковой пемзы в природных отложениях достигает 30%, а глыбовой до 45%. Кусковая и глыбовая пемзы имеют плотность в куске 720 кг/м³, прочность при сжатии 3,9 МПа, пористость 71,5% с круглыми вытянутыми порами 0,05–10 мм, водопоглощение от 24 до 50,2% и морозостойкость 50 циклов. Гравийная составляющая с инородными примесями имеет насыпную плотность 1080 кг/м³, а обогащенная – 520 кг/м³. Примесь инородных пород составляет 28,2%. Водопоглощение

пемзового гравия 35,6%, пористость 47,1%, содержание пылевидных и глинистых частиц 3,2%, а органические примеси отсутствуют. Песок мелкозернистый, с модулем крупности 0,8. Он содержит 15,5% магнетита и повышенное количество мелкозема 23%. Насыпная плотность 1250 кг/м³, пористость 43,8%. Глинистые и илистые частицы практически отсутствуют [3].

Таким образом, применение пемзы с практически неисчерпаемыми запасами и ее уникальными физико-механическими свойствами в строительстве на Дальнем Востоке может открыть большие возможности для широкого внедрения эффективных конструкций, прогрессивных объемно-планировочных и конструктивных решений, отвечающих требованиям научно-технического прогресса, при одновременном сокращении затрат материальных, финансовых и топливно-энергетических ресурсов. Использование пемзы в строительстве рекомендуется для теплоизоляционных работ, изготовления наружных ограждающих конструкций из пемзобетонов марок 35–100 плотностью 700–1000 кг/м³ и легких теплоизоляционно-конструкционных бетонов марок 50–150 плотностью 1000–1400 кг/м³ в композиции с керамзитом или вулканическим шлаком.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воробьев, Е.Л. Проблемы строительства и строительных материалов в Дальневосточном регионе / Е.Л. Воробьев, И.В. Рылов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Сборник докладов, Белгород, 20–21 мая 2024 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 40–42.

2. Рудь В.П. Рекомендации по использованию в строительстве минерально-сырьевых ресурсов Камчатки // Камч. обл. правление НТО строительной индустрии. – Петропавловск-Камчатский, 1987. – 176 с.

3. Минерально-сырьевой потенциал Камчатской области / Г.П. Яроцкий [и др.]. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского гос. ун-та им. Витуса Беринга, 2007. – 115 с.

Гаручава М.Ю., Иванов Д.В.

Научный руководитель: Павленко В.И., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

В работе рассмотрены физико-химические особенности процессов переработки кремнеземсодержащего сырья из Чалганского месторождения кварц-каолин-полевошпатовых песков (Амурская область). Выявлены оптимальные условия получения высокочистого аморфного кремнезема и кристаллического кремния и разработан инновационный метод комплексной переработки кварцевых песков.

В наши дни ресурсы, содержащие кремнезем, становятся все более востребованными как для производства аморфного кремнезема, так и для получения высокочистого кремния. Эти материалы находят применение в химической промышленности [1], радиоэлектронике, космонавтике, медицине и косметологии, причем спрос на них велик как на внутреннем российском рынке, так и за рубежом. Существующие методы синтеза аморфного кремнезема опираются на сложные, многоступенчатые технологические процессы, которые предполагают использование дорогостоящих реагентов, специфического оборудования и редких видов сырья [2]. Производство кремния по таким методам [2] связано с высокой себестоимостью, что объясняется значительными затратами на энергоресурсы и материалы, а также не всегда гарантирует экологическую и технологическую безопасность процесса.

Настоящая работа направлена на разработку инновационного и более эффективного метода извлечения аморфного кремнезема и кремния путем комплексной переработки доступных и распространенных кремнеземсодержащих материалов, таких как кварцевые пески с низким содержанием примесей.

В качестве объекта исследования использованы кварцевые пески Чалганского месторождения (Амурская область), относящиеся к кварц-каолиновому типу. Основная фракция материала была измельчена до размеров менее 0,01 см и имела следующий химический состав, мас. %: SiO_2 — 95,80; Al_2O_3 — 2,26; Fe_2O_3 — 0,17; TiO_2 — 0,23; Na_2O — 0,09; K_2O — 0,97; ппп — 0,40. Основным компонентом песка является $\beta\text{-SiO}_2$, каркасный силикат кварца. Для проведения исследований использовали

такие реагенты, как гидродифторид аммония (NH_4HF_2), аммиачная вода (NH_4OH), порошок металлического алюминия, измельченная сера и другие.

Процесс начальной подготовки включал растирание и смешивание исходных компонентов, которые затем помещались в тигли из тефлона, стеклогуглерода или платины. Фторирование сырья выполнялось в специальной лабораторной установке с реактором из никелевого сплава, где сырье спекалось с гидродифторидом аммония и подвергалось термической обработке при заданной температуре и времени. Летучие продукты улавливались конденсатором из нержавеющей стали, а газообразный аммиак и пары воды собирались в устройстве с водным раствором. Регенерация гидродифторида аммония проводилась с помощью лабораторного выпаривателя-кристаллизатора, синтез аморфного кремнезема выполнялся в гидролизном аппарате из фторопласта, а кремний получали в термическом устройстве специальной конструкции.

Анализ промежуточных и конечных продуктов проводился с использованием рентгенофазового, электронно-микроскопического, спектрального методов и других, применяемых в Аналитическом центре ИГиП ДВО РАН. Для рентгенофазового анализа использовали дифрактометр XRD-7000S, а электронно-микроскопические исследования выполнялись на микроскопе JSM-6490LV, включая анализ элементов Si, Al, Fe, Na, K. Эмиссионный спектральный анализ микропримесей осуществлялся на спектрографе СТЭ-1 с определением 44 элементов.

Перед экспериментами были рассчитаны термодинамические и кинетические параметры с помощью программных средств, созданных на основе Microsoft Access 2007.

В ходе исследований разработана технологическая схема материальных потоков для комплексной переработки кварцевых песков с выделением полезных компонентов (рис. 1). На схеме для каждого химического соединения представлены расходные коэффициенты на 100 г кварцевого песка стехиометрического состава.

Спекание исходного кварцевого песка с гидродифторидом аммония проводилось при температурах 100–200 °C (реакция 1). По данным констант скоростей и энергии активации ($K_c = 0,00823 \text{ мин}^{-1}$ при 200 °C, $E_a = 18,3 \text{ кДж/моль}$) реакция 1 протекает в кинетической области. Способ ускорения процесса — повышение

температуры.

При температурах выше температуры плавления NH_4HF_2 (126,8 °C) взаимодействие протекает с максимальной скоростью, и при 200 °C

за 3,5 часа достигаются оптимальные условия процесса [3]. Выделяющийся газообразный аммиак улавливался с образованием аммиачной воды (реакция 2).

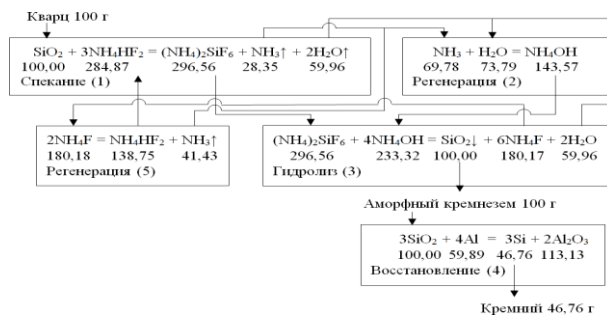


Рис. 1 – Технологическая схема материальных потоков при комплексной переработке кварцевых песков

Согласно данным рентгенофазового и химического анализа, полученный в условиях восстановления или инертной атмосферы порошкообразный спек включает гексафторосиликат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ [4]. Примеси, такие как Al, Fe, Na и K, образуют аммониевые фториды $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$ и $(\text{NH}_4)_3\text{FeF}_6$ и фториды щелочных металлов (NaF и KF). Для очистки $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ от данных примесей использовали метод термической обработки, в ходе которой гексафторосиликат аммония сублимировался в температурном диапазоне 350–550°C. Процесс отличается высокими значениями константы скорости реакции и невысокой энергией активации ($K_c = 0,061729 \text{ мин}^{-1}$ при 500 °C, $E_a = 10,8 \text{ кДж/моль}$); наилучшие условия для выделения летучего $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ достигаются при 500 °C. За полчаса достигается практически полное теоретическое извлечение летучего компонента, тогда как примеси остаются в виде нелетучего осадка, образуя стабильные фториды. Сублимированный $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ конденсировался и собирался в специальном конденсаторе.

Согласно данным электронно-зондового микроанализа, гексафторосиликат аммония состоит из микропластин толщиной менее 100 нм, которые образуют кристаллические структуры в виде волокон, пирамидальных и дендритовидных агрегатов. Спектральный анализ подтверждает высокую чистоту вещества $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$, содержание примесей в котором составляет лишь 0,0001–0,00001 мас. %.

Для дальнейших этапов полученный $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ растворяли в воде до концентрации 5–25 мас. % и при комнатной температуре обрабатывали аммиачной водой (25 мас. % NH_3), создавая суспензию с

pH в диапазоне 8–9. Процесс завершался выдержкой в течение 0,5–1,5 часа, после чего образовавшуюся суспензию фильтровали, промывали дистиллированной водой и сушили осадок до постоянного веса. В результате был получен нанодисперсный аморфный кремнезем высокой чистоты и с удельной поверхностью более 50 м²/г. Средний размер частиц кремнезема составлял 30–40 нм при минимальном содержании примесей (менее 0,0001 мас. %).

Полученный аморфный кремнезем соответствует характеристикам гидрофобного кремнезема, определенным ГОСТ 14922-77, и аналогичен AEROSIL-R 972, выпускаемому компанией Evonik (Германия). Экономический анализ показал, что аморфный кремнезем, произведенный методом с использованием аммонийных фторидов, имеет себестоимость почти в два раза ниже, при этом сохраняя все качественные показатели.

Часть используемых реагентов, таких как NH₄HF₂ и NH₄OH, успешно восстанавливалась в ходе процесса и могла повторно применяться на других этапах технологической цепочки.

Для получения кристаллического кремния аморфный кремнезем подвергался алюмотермии. Смесь аморфного кремнезема, алюминиевого порошка и серы в соотношении 9:10:12 масс. % тщательно перемешивалась и загружалась в тигель из фарфора или алунда. Сверху помещали слой зажигательной смеси (алюминий и сера в соотношении 9:16), поджигаемой магниевой лентой. В процессе происходила экзотермическая реакция, приводившая к выделению тепла и формированию кремния. Продукт реакции промывали водой, затем обрабатывали раствором соляной кислоты, фильтровали и сушили до стабильной массы.

Рентгенофазовый анализ конечного продукта показал, что кристаллический кремний не содержит примесей, представляя собой чистую монофазу (Si)

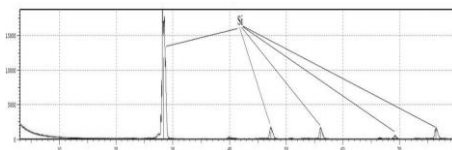


Рис. 2 – Рентгенофазовый анализ образца кристаллического кремния, полученного методом алюмотермии.

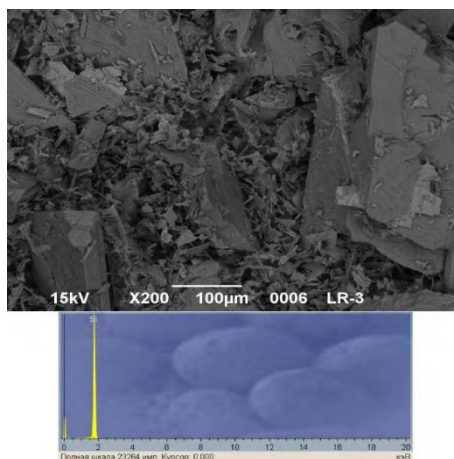


Рис. 3 – Микрофотография (вверху) и энергодисперсионный спектр (внизу) образца кристаллического кремния, полученного методом алюмотермии.

По данным микрозондового анализа (рис. 3) содержание кремния в полученном образце достигает 99,97 мас. %, что соответствует высокочистому кристаллическому кремнию [5].

Теоретические и экспериментальные исследования позволили определить оптимальные физико-химические условия для комплексной переработки кремнеземсодержащих материалов. На основе этих данных был создан новый метод, обеспечивающий эффективное извлечение высокочистого аморфного кремнезема и кристаллического кремния из кварцевых песков. Данный метод существенно снижает потребление материалов и энергии, а также позволяет достичь более высокой экологической и технологической безопасности конечного продукта по сравнению с традиционными подходами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клочкив Е.П., Павленко В.И., Матюхин П.В., Ястребинская А.В. Модифицирование природных минеральных систем для очистки воды от радионуклидов // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - №6. - С. 13
2. Соколенко И.В., Ястребинский Р.Н., Крайний А.А., Матюхин П.В., Тарасов Д.Г. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите // Вестник Белгородского государственного технологического университета им.

В.Г. Шухова. - 2013. - №6. - С. 145–148.

3. Yastrebinsky, R.N., Bondarenko, G.G., Karnauhov, A.A. et al. Multigroup Simulation of Protection Against Neutron and Gamma Radiation by Materials Based on Titanium Hydride. Inorg. Mater. Appl. Res. 2022, 13, 1261–1269

4. Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И. Исследование микроструктуры поверхности композиционного материала на основеалюминиевой матрицы // Перспективные материалы. - 2013. - №6. - С. 22–26

5. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2011. - №2. - С. 42

УДК 691.322

Данилов Д.Ю.

Научный руководитель: Толыпина Н.М., д-р. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕТОННОГО ЛОМА В КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Существует статистика, согласно которой в России от года к году на четверть растет объем строительного мусора, 60% из которого составляют кирпичный и бетонный лом [1, 2]. Это создает перед будущим и даже нашим поколением проблему утилизации данного рода отходов. Экономически и экологически выгодным решением этой задачи является вторичное использование строительных отходов, что может позволить снизить затраты на изготовление строительных ресурсов на 10-30% [3]. Согласно некоторым исследованиям бетонный лом удовлетворяет большинству показателей свойств, присущих природному щебню [4], что позволяет утверждать о потенциале применения бетонного лома в качестве заполнителя без потери качества конечного продукта, однако это утверждение остается дискуссионным [5]. Бетонный лом может быть использован в составе смеси как заполнитель [6] и как минеральная добавка [7]. Нельзя обходить стороной и вопрос более высокой водопотребности смеси из вторичного сырья по сравнению со смесью из природных заполнителей [8], что может негативно сказываться на прочностных характеристиках

бетона. Целью данного исследования является оценить потенциал использования бетонного лома в качестве заполнителя бетонной смеси, а также отследить влияние агрессивных сред на образцы.

В качестве исходного материала был использован бетонный лом монолитной плиты марки В25 возрастом около 9 месяцев, измельченный посредством щековой дробилки. Для уменьшения объема цементного камня на гранулах щебня был осуществлен помол на вибрационной мельнице в течение 5 минут. Далее были изготовлены образцы размерами 2,5х2,5х10 см с соотношением цемент:бетонный лом 1:8. Был использован портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО «Осколцемент» (тн.схв=230 мин; НГ=26%, С3S=61,59%, С2S=14,2%, С3А=6,83%, С4АF=3,73%), добавка «Полипласт» типа S. Помимо образцов 2,5х2,5х10 см, изготовленных для испытаний на гидравлическом прессе, были изготовлены образцы размером 2,5х2,5х16 см для испытаний ультразвуковым методом с помощью измерителя времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2.2». Образцы после 14 сут твердения в камере нормального хранения распределены по различным средам: в водопроводную воду, в 1,5 %-й раствор $MgSO_4$, в 1,5 %-й раствор Na_2SO_4 .

Перед каждым испытанием проводился визуальный осмотр образцов. Период наблюдений охватывал 6 мес с момента помещения образцов в растворы, что оказалось достаточным для небольших изменений во внешнем виде образцов (рис. 1).



Рис. 1. – Внешний вид образцов, твердевших (слева направо) в водопроводной воде, в 1,5 %-м растворе $MgSO_4$ и в 1,5 %-м растворе Na_2SO_4 1, 3 и 6 мес.

За полгода внешний вид образцов, хранившихся в водопроводной воде, практически не поменялся, чего не скажешь об образцах из растворов сульфата магния и натрия. У образцов из р-ра $MgSO_4$ уже после 3 месяцев наблюдается выкрашивание углов и ребер балочек, а также появился характерный светло-серый оттенок на всех гранях. После 6 месяцев этот процесс так же заметен, но особых изменений по сравнению с 3 месяцами не наблюдается. Раствор из сульфата натрия является менее агрессивной средой, поэтому результат воздействия на образцы проявился несколько позже: после 3 мес очертания балочек все еще четкие, хотя на ощупь выкрашивание уже ощущалось, а вот после 6 месяцев результат этого процесса стал заметен невооруженным взглядом.

За время наблюдения испытания проводились четырежды: перед погружением в растворы (после 14 дней твердения в нормальных условиях), по прошествии 1 мес, 3 мес и 6 мес. Средние значения результатов испытаний образцов занесены в табл. 1.

Таблица 1 – Прочность на сжатие образцов бетона

Среда	Прочность на сжатие, МПа, в сроки твердения			
	14 дней	1 мес	3 мес	6 мес
Вода	6,38	10,19	10,59	12,81
1,5% р-р $MgSO_4$		11,66	6,64	9,45
1,5% р-р Na_2SO_4		9,36	9,35	10,51

По этим данным мы видим ту же картину, что и после визуального осмотра. Результаты образцов, хранившихся в воде, продолжали расти на протяжении полугода наблюдений. Прочность образцов из раствора сульфата магния развивалась неравномерно, но в рамках ожиданий. Ввиду воздействия агрессивной среды произошло падение показателей на 43% в возрасте 3 мес и на 19% в возрасте 6 мес по сравнению с 1 мес. Непоследовательно низкие показатели на 3 мес обусловлены погрешностью, полученной в результате усреднения значений – один из образцов показал чересчур малую прочность ($<3,5$ МПа). Еще один такой же был и среди тех, что твердели в растворе сульфата натрия, который также показал очень низкую прочность на 3 мес испытаний, в результате чего среднее значение в возрасте 6 мес оказалось выше, хотя после визуального осмотра мы отмечали ухудшение внешнего вида образцов.

Подобного рода неоднородность прочности бетона на основе заполнителя из бетонного лома обусловлена неоднородностью самого бетонного лома, ведь он состоит частично из природного камня, частично из искусственного. Также можно отметить в целом невысокую

прочность всех образцов, которую можно объяснить повышенной пористостью образцов из бетонного лома.

По итогу мы видим, что бетонный лом как заполнитель имеет право на существование, но с той оговоркой, что к конечному продукту будут предъявлены требования, учитывающие недостатки данного вида сырья. Некоторые исследования указывают на необходимость дополнительной обработки бетонного лома перед вторичным использованием, однако на данный момент до конца не изучена ни практическая эффективность этих способов, ни их экономический смысл.

Что касается влияния агрессивных сред на образцы, то здесь результаты не показали ничего выдающегося – результаты образцов, хранившихся в воде, выше и стабильнее результатов образцов из агрессивных сред.

Полученные данные говорят о необходимости продолжения исследований, но одно понятно уже сейчас – нет никаких преград для использования бетонного лома для производства низкомарочных бетонов, использующихся в конструкциях, не являющихся ответственными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макарычев, К.В. Вторая жизнь строительного мусора: Вторичное использование строительных материалов на практике / К.В. Макарычев, К.Г. Тарасова, А.О. Харина, А.А. Стукалин // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок : в 4 т., Курск, 01 декабря 2022 года. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 369-372.

2. Борисова, М.И. Преимущества применения технологии замкнутого цикла в борьбе с сокращением объемов строительного мусора / М.И. Борисова, А.С. Баранова, К.А. Букенина, Д.С. Склорова // Химия, физика и механика материалов. – 2024. – № 1(40). – С. 82-102.

3. Кахаров, З.В. Бетоны с заполнителями из продуктов дробления вторичного бетона / З.В. Кахаров, А.С. Исломов // Вестник науки. – 2023. – Т. 3, № 5(62). – С. 820-825.

4. Каптюшина, А.Г. Исследование физико-механических свойств щебня из бетонного лома / А.Г. Каптюшина, И.С. Кононов, А.Н. Бакунина // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 2(12). – С. 59-62.

5. Баженов, Ю.М. Эффективные бетоны для строительных и восстановительных работ с использованием бетонного лома и отвальных зол ТЭС / Ю.М. Баженов, С.А. Муртазаев // Вестник МГСУ. – 2008. – № 3. – С. 124-127.

6. Толпынина, Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем применения активных заполнителей второго типа / Н.М. Толпынина, Е.М. Щигорева, М.В. Головин, Д.С. Щигорев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2019. — № 2. — С. 27-32.

7. Павлов, А.В. Влияние добавки молотого бетонного лома на кинетику изменения прочности цементно-песчаного раствора / А.В. Павлов, В.Ф. Коровяков // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 3(75). – С. 387-397.

8. Сафончик, Д.И. Исследование физико-механических характеристик бетонов, изготовленных на основе бетонного лома / Д.И. Сафончик, Д.А. Сазон // Наука и инновационные технологии. – 2022. – № 1(22). – С. 207-212.

УДК 691.322

Данилов Д.Ю., Чашин Д.Ю, Толпынин Д.А.

Научный руководитель: Толпынина Н.М., д-р. техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

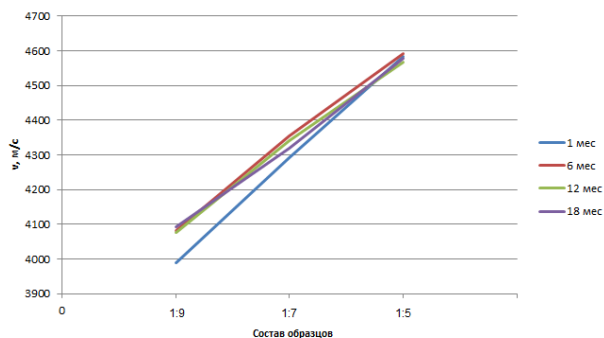
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АГРЕССИВНЫХ СУЛЬФАТНЫХ СРЕД НА БЕТОННЫЕ ОБРАЗЦЫ ПОСРЕДСТВОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

Долговечность бетона является одним из главных свойств, гарантирующих эксплуатацию бетонных изделий и конструкций в течение длительного времени. Снижение долговечности может быть вызвано коррозионными процессами под воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды: агрессивных сред [1-3], выбросов в атмосферу [4], засоленности грунтов [5] и сточных вод [6] и др. Проблема снижения долговечности до настоящего времени является предметом исследований специалистов как в нашей стране, так и за рубежом [7]. Для повышения информативности и надежности результатов испытаний коррозионной стойкости строительных материалов целесообразно использовать комплекс различных методов. Целью работы является исследование структурно-механических

свойств корродированных образцов бетона под влиянием сульфатных сред с использованием метода ультразвуковой диагностики.

Для исследования коррозионной стойкости бетона были изготовлены образцы с разным соотношением цемент:заполнитель: 1:9, 1:7, 1:5. Использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО «Осколцемент» (тн.схв=230 мин; НГ=26%, С3S=61,59%, С2S=14,2%, С3А=6,83%, С4АF=3,73%); гранитный щебень фракции 3-8 мм (ГОСТ 10180-2012); кварцевый песок производителя ООО «Пулмаркет» (SiO₂=95%, Мкр=2,15, ГОСТ 8736-2014). Водоцементное отношение соответствовало нормальной консистенции по ГОСТ 310.4-81. Изготовлены образцы 2,5х2,5х16 см для испытаний ультразвуковым методом с помощью измерителя времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2.2». Образцы после 14 сут твердения в камере нормального хранения распределены по различным средам: в водопроводную воду, в 1,5 %-й раствор MgSO₄, в 1,5 %-й раствор Na₂SO₄.

Полученные данные скорости прохождения УЗ-сигнала в образцах бетона различного состава были сгруппированы в соответствии со средами хранения (рис. 1). Четко прослеживается, независимо от условий твердения, что при переходе от малцементного состава 1:9 к составу 1:5 с высоким содержанием вяжущего наблюдается значительное увеличение скорости прохождения ультразвуковых волн в бетоне за счет формирования более плотной структуры. Заметно меняется расположение и конфигурация линий скорости УЗ-сигнала в зависимости от среды хранения, что является отражением особенностей структурных и физико-химических процессов, протекающих в бетоне в определенных условиях.



а)

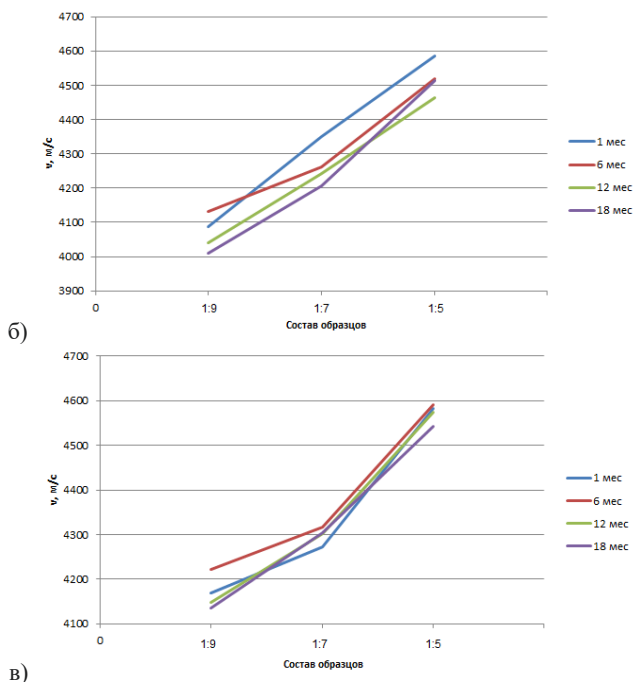


Рис. 1 – Изменение скорости прохождения УЗ-сигнала в образцах бетона, твердевших в различных средах: а – вода; б – 1,5 %-й р-р MgSO_4 ; в – 1,5 %-й р-р Na_2SO_4

Так при твердении в воде (рис. 1а) скорость прохождения УЗ-импульса у образцов всех составов достигла максимального значения к 6 мес, что говорит о стабилизации процесса упрочнения структуры, после чего мало менялась следующие 12 мес.

В растворе MgSO_4 (рис. 1б) конфигурация и расположение графических зависимостей коренным образом меняется: максимальная скорость УЗ-импульса отражена линией – 1 мес (за исключением образца 1:9), затем к 6 мес идет снижение. К 12 мес скорость прохождения УЗ-импульса у всех образцов достигла минимальных значений за год, что свидетельствует о снижении прочности в результате деструктивных коррозионных процессов. В зависимости от плотности бетона агрессивный сульфатный раствор проникает в его поры на ту или иную глубину, которая определяется проницаемостью материала. При увеличении содержания цемента стойкость бетона повышается. Внешний вид образцов (рис. 2) подтверждает приведенные экспериментальные данные. На поверхности образцов после 12 мес

испытаний наблюдаются признаки разрушения: выкрашивание углов и ребер балочек, особенно у образца 1:9, появление каверн на гранях. Падение показателей скорости УЗ в образцах 1:9 и 1:7 продолжилось вплоть до 18 мес, у образцов 1:5 отмечается частичное восстановление.



Рис. 2 – Внешний вид образцов, твердевших в 1,5-% р-ре $MgSO_4$ 1 и 12 мес.
Состав: 1– 1:9, 2–1:7, 3–1:5

В растворе Na_2SO_4 (рис. 1в), менее агрессивном по сравнению с сульфатом магния, складывается своя специфичная картина, отличная от рассмотренных выше. Чем выше содержание вяжущего и меньше заполнителя, тем меньше падение скорости со временем и, соответственно, выше коррозионная устойчивость. К 6 мес скорость прохождения УЗ-импульса достигла максимальных значений у образцов всех составов, к 12 мес наблюдалось снижение скорости, но в разной степени. В ряду 1:9–1:7–1:5 наибольшее падение скорости прохождения УЗ-импульса у образцов состава 1:9, затем по мере роста содержания вяжущего, спад нивелируется. К 18 мес у образца 1:7 наблюдался рост скорости ультразвука, вероятно, в этом периоде в результате взаимодействия с сульфат-ионами с образованием двуводного гипса и гидросульфоалюмината кальция внутренние растягивающие усилия в цементном камне сменяются периодами возможного частичного восстановления структуры бетона. Образцы практически не имеют видимых признаков разрушения, не смотря на длительное пребывание в агрессивном растворе (рис. 3).



Рис. 3 – Внешний вид образцов, твердевших в 1,5-% р-ре Na_2SO_4 1 и 12 мес.
Состав: 1– 1:9, 2–1:7, 3–1:5

Заметно выделяются от остальных образцы состава 1:5 с наибольшим содержанием цемента четкостью геометрической формы и монолитностью.

Таким образом, кривые скорости УЗ отражают структурные изменения, происходящие в цементном камне при твердении в агрессивных растворах сульфатов магния и натрия. Кривые скорости прохождения ультразвука могут быть использованы для сравнения стойкости материалов различного состава и плотности. Чем больше расход вяжущего и плотнее структура, тем медленнее продвижение фронта коррозии и позднее деструкция цементного камня, что отражается на кривых УЗ-скорости. Применение этой методики дает полезную информацию, которая может быть использована при анализе процессов коррозии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпенко, Н.И. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций / Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко, В.Н. Ярмаковский, В.Т. Ерофеев // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 93-102.

2. Рахимбаев, Ш.М. Сравнительная стойкость бетонов с заполнителем различных размеров и без него / Ш.М. Рахимбаев, Н.М. Толыпина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – №11. – С. 43-47.

3. Толыпина, Н.М. Ультразвуковая диагностика деструкции бетона под воздействием агрессивных сред / Н.М. Толыпина, Д.Ю. Данилов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2024. – Т. 21, № 4(98). – С. 628-638.

4. Шевяков, В.П. Проектирование защиты строительных конструкций химических предприятий от коррозии / В.П. Шевяков. – М.:Стройиздат, 1984. – 168 с.

5. Liu, D. Evaluation of corrosion damage in sulfate-attacked concrete by ct, ultrasonic pulse velocity testing and AHP methods / D. Liu // Sensors. – 2022. – Т. 22., №. 8. – С. 3037.

6. Stawiski, B., Examining the distribution of strength across the thickness of reinforced concrete elements subject to sulphate corrosion using the ultrasonic method / B. Stawiski, T. Kania // Materials. – 2019. – Т. 12, №. 16. – С. 2519.

7. Тринкер, А.В. Факторы, влияющие на долговечность бетона / А.В. Тринкер // Технологии бетонов. – 2012. – № 9-10(74-75). – С. 64-66.

УДК 691.112

Дудченко В.А.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ОТРАСЛЬ: АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Деревообрабатывающая отрасль является одной из ключевых составляющих экономики многих стран. Эта сфера охватывает широкий спектр процессов, связанных с переработкой древесины: от заготовки леса до производства готовой продукции, такой как мебель, строительные материалы и другие изделия. В последние десятилетия рынок дерева и древесных изделий стал свидетелем существенных изменений, вызванных как экономическими процессами, так и экологическими вызовами. В данной статье мы рассмотрим текущее состояние деревообрабатывающей отрасли, основные проблемы, с которыми она сталкивается, и возможные пути её развития в будущем [1].

На данный момент деревообрабатывающая отрасль демонстрирует смешанную динамику: с одной стороны, наблюдается рост в определенных сегментах, а с другой — возникновение новых вызовов, требующих быстрой адаптации. По данным Всемирной организации лесного хозяйства, объемы производства древесины и изделий из неё в последние годы колеблются, что связано как с изменениями в потребительском спросе, так и с устойчивыми экологическими практиками.

Глобализированные тенденции серьёзно повлияли на деревообрабатывающую отрасль. С одной стороны, рост популярных направлений, таких как экотуризм и устойчивое строительство, сыграл на руку производителям, использующим экологически чистые или сертифицированные материалы. С другой стороны, эти же тенденции накладывают ограничения на многие процессы, требуя от производителей внедрения современных технологий и методов переработки[2].

Экологическая устойчивость становится все более важным аспектом в современном производстве. Древесина, как природный

материал, становится предметом пристального внимания из-за необходимости соблюдения норм охраны окружающей среды. Это поднимает спрос на сертифицированные древесные материалы, что, в свою очередь, ведет к росту рынка для компаний, способных гарантировать экологическую чистоту своей продукции.

Анализируя объём деревообрабатывающей промышленности следует отметить, что отрасль имеет устойчивый рост, не только мировом, но и российском рынке. мировая индустрия изделий из древесины оценивается в более чем 600 миллиардов долларов в 2021 году, и ожидается, что среднегодовые темпы роста в период с 2022 по 2030 год составят 5,0%.

По данным Федеральной службы государственной статистики по промышленному производству в стране за период с января по сентябрь 2024 года, индекс промпроизводства в отчетный период составил 104,4% в сравнении с аналогичными месяцами 2023 года. В сентябре индекс составил 101,1% в сравнении с августом и 103,2% – в сравнении с сентябрем прошлого года. Что касается производства продукции деревообработки, кроме мебели, объем в первые девять месяцев 2024 г. вырос на 4,4% в годовом исчислении. Выпуск бумаги и продукции из нее – на 5,9% [3].

Производство основных видов продукции ЛПК и ЦБП в конкретных цифрах по товарным категориям за девять месяцев текущего года представлен в таблице 1.

Таблица1 – Производство основных видов продукции ЛПК и ЦБП

№	Категории	Изменение, %
1	ДСП	+19,3
2	ДВП	+4,3%
3	целлюлоза	без изменений
4	фанера	+4,6%
5	пиломатериалы	+0,3%
6	древесно-топливные пеллеты	-21,9%
7	бумага и картон	+6,7%
8	гофротара	+6,5%
9	бумажные обои	-4,6%
10	этикеточная продукция	+36%
11	деревянные двери и дверные коробки	+0,4%
12	деревянные окна и оконные коробки	13,7%

Анализ данных Росстата о промышленном производстве в России за январь-сентябрь 2024 года демонстрирует неоднородные тенденции в различных отраслях. Несмотря на общий рост промышленного производства (104,4% по сравнению с аналогичным периодом 2023 года), наблюдается снижение производства древесно-топливных пеллет и деревянных окон и дверей. В то же время отмечается рост производства фанеры, ДСП, ДВП, бумаги и картона, а также этикеточной продукции.

Но несмотря на активный рост российского лесопромышленного комплекса, Северная Америка, Европа и Азия, имеют ключевое значение для промышленной динамики. Северная Америка остается важным рынком деревянной мебели и столярных изделий, в то время как Азия, особенно Китай и Индия, быстро наращивают свои производственные мощности, способствуя увеличению спроса и предложения в этом секторе. Тем временем Европа лидирует в производственных инновациях, уделяя особое внимание устойчивому развитию и высококачественным изделиям из древесины.

В лесной промышленности активно используются современные технологии. Автоматизация и производственные технологии меняют традиционные производственные процессы, повышая эффективность и точность. Например, станки с ЧПУ для лазерной резки активно используются в производстве.

Применение инновационных методов оптимизирует производственные процессы, увеличивает эффективность и повышает безопасность на рабочем месте. Стартапы играют ключевую роль во внедрении новых технологий, революционизируя подходы к обработке древесины [4].

Одним из примеров таких новых стартапов является, Shaper Origin, использует передовые технологии компьютерного зрения, чтобы помочь традиционным плотникам измерять сложные детали на деревянных изделиях, не полагаясь на устаревшие ручные инструменты. Кроме того, российский стартап Smart Timber, базирующийся в Санкт-Петербурге, создал мобильное приложение, которое использует технологии компьютерного зрения и машинного обучения для автоматизации процесса подсчета древесины. Еще одно успешное решение от российских разработчиков — программное обеспечение Opti-Sawmill, разработанное для деревообрабатывающих предприятий как инструмент планирования, оптимизации и управления производством и продажами. Другая компания Ligna Robotics, которая разрабатывает роботизированные манипуляторы для автоматизации

загрузки и разгрузки древесины и деревообрабатывающей продукции. Компания также предлагает индивидуальное программное обеспечение, которое можно использовать для управления и мониторинга всех производственных процессов [5].

Важным аспектом является доступность современных инструментов, от программного обеспечения САПР до 3D-принтеров и лазерных станков. Это позволяет малым и средним предприятиям конкурировать с крупными игроками рынка и вносить свой вклад в развитие отрасли.

Внедрение новых технологий в деревообрабатывающую промышленность приводит к значительным изменениям в производственных процессах и открывает новые возможности для развития отрасли. Использование инструментов цифрового дизайна упрощает процесс проектирования и позволяет реализовывать более сложные и креативные идеи. Роботизация освобождает сотрудников от рутинной работы и позволяет им сосредоточиться на задачах, повышающих ценность продукции.

Деревообрабатывающая промышленность находится на переломном пункте. Новые технологии обеспечивают возможность улучшить качество продукции, повысить эффективность производства, создать новые рынки сбыта и укрепить конкурентоспособность отрасли в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хакимова Фирдавес Харисовна, Носкова Ольга Алексеевна, Хакимов Роман Рашидович, Фонарёв Илья Игоревич Эффективный вариант ресурсосбережения в сфере заготовки древесины и переработки ее в целлюлознобумажной промышленности // Химия растительного сырья. 2024. №1.

2. Таскин Фёдор Александрович Реализация концепции экономики замкнутого цикла в Германии // Концепт. 2024. №3.

3. Бабкина Людмила Николаевна, Скотаренко Оксана Вячеславовна Экологические проблемы региональной экономики некоторых территорий российской федерации // Экономика Профессия Бизнес. 2024. №1.

4. М.А. Зырянов, С.О. Медведев, А.П. Мохирев Повышение ресурсного потенциала древесного сырья // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2024. №4.

5. Кунцев, А.С. Комплексное использование лесных ресурсов Белгородской области / А.С. Кунцев, С.И. Овсянников // Современные

технологии деревообрабатывающей промышленности : Материалы международной научно-практической онлайн-конференции, Белгород, 15–16 февраля 2018 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 235-243.

УДК 666.9.019.3

Иванов Д.В., Гаручава М.Ю.

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

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ БЕТОНОВ

Концепция создания самовосстанавливающихся материалов особенно актуальна, когда речь идет о бетоне. Современное строительство невозможно без этого материала, который сегодня является одним из самых массово применяемых в различных строительных условиях. Бетон обладает высоким уровнем совместимости с природными условиями, огромной сырьевой базой и сравнительно низкой себестоимостью [1]. Важными преимуществами также являются его архитектурно-строительная выразительность, простота технологии производства и возможность широкого использования местного сырья и техногенных отходов, что уменьшает затраты на его изготовление. Низкая энергоемкость, экологическая безопасность и эксплуатационная надежность обеспечивают бетону статус основного конструкционного материала, который сохранится и в будущем [2]. Создание бетона с функцией самовосстановления позволит значительно снизить затраты на ремонт и обслуживание строительных сооружений, что по сути требует значительных финансовых, трудовых и иных затрат в разных странах.

В современном строительстве потребность в бетоне, который не потребует постоянного ремонта, очевидна. В этой связи проводятся исследования, посвященные самовосстановлению различных материалов, чтобы выявить эффективные механизмы и условия, обеспечивающие эту способность [3]. Рассмотрим несколько ключевых подходов к разработке самовосстанавливающегося бетона.

1. Бетон с полыми волокнами. В цементную матрицу внедряются полые волокна, равномерно распределенные и наполненные восстанавливающим веществом. При образовании трещин эти волокна ломаются, и агент для ремонта, под действием

капиллярных сил и силы тяжести, попадает в повреждение, заделывая его и восстанавливая целостность структуры.

2. Образование карбоната кальция. Данный процесс требует нескольких стадий для полноценного восстановления структуры бетона. В незавершенно гидратированных частицах цемента, взаимодействующих с водой, выделяются ионы кальция, которые вступают в реакцию с углекислым газом, присутствующим в растворе. В результате образуются осадки кальция, которые идут от краев трещины, постепенно заполняя её пустоты

3. Расширяющие добавки. Такие добавки вводятся в состав бетона, чтобы при взаимодействии с влагой обеспечивать заделку трещин. Основная сложность использования данных добавок заключается в риске их преждевременной активации, что может предотвратить их работу при возникновении трещин или же привести к ухудшению структуры бетона.

4. Биологическое восстановление с использованием бактерий. Данный подход предполагает использование бактерий, которые при взаимодействии с влагой образуют карбонат кальция (CaCO_3) в ходе метаболического процесса, что приводит к «лечению» бетона. Заделка трещин происходит при контакте бактерий с жидкостью, где они активируются и начинают жизнедеятельность, в результате которой происходит образование карбоната кальция, заполняющего дефект.

Среди всех упомянутых подходов наиболее перспективным считается механизм микрокапсулирования. В состав бетона включаются твердые капсулы, изолирующие восстанавливающий агент от внешней среды. По мере образования и роста трещин капсулы разрушаются, высвобождая содержимое, которое заполняет повреждения [4]. Основное отличие микрокапсул от волокон состоит в том, что в первом случае агент считается внутренним компонентом, а во втором он изначально не является частью бетона.

Различные исследования показывают необходимость соблюдения особых условий для успешного самовосстановления материалов: это должна быть оптимальная концентрация химических веществ и параметры окружающей среды. Подобные условия могут варьироваться от постоянного воздействия воды или высокой влажности до чередующихся циклов увлажнения и высыхания. Наибольшую сложность представляет собой дефект самого бетона, ширина и форма трещины, что также требует специфического подхода для её устранения.

На данный момент прогресс в исследовании структуры и свойств материалов позволяет нам уверенно рассматривать возможность

создания строительных материалов, которые будут отвечать строгим эксплуатационным и экологическим требованиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gorodov A.I., Mogutova A.A., Matyukhin P.V., Romanyuk D.S. The effect of heat treatment on oxygen content and microstructure of near-surface areas of titanium hydride coated with tungsten carbide // Journal of Physics: Conference Series. - 2022. Т. 2388. № 1. - С. 11.

2. Соколенко И. В., Ястребинский Р.Н., Крайний А.А., Матюхин П.В., Тарасов Д.Г. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. - 2013. - №6. - С. 145–148.

3. Yastrebinskii, R.N., Bondarenko, G.G., Gorodov, A.I., Yastrebinskaya, A.V. Verifying a Two-Dimensional Model Simulating Attenuation of Neutron and Photon Radiation from Nuclear Reactors Having Metal Hydride Composite Protection. Inorganic Materials: Applied Research, 2024, Vol. 15, No. 2, pp. 319–327.

4. Матюхин П.В., Ястребинский Р.Н., Широков А.В. Основные физико-механические характеристики гематита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. - 2016. - №8. - С. 23–28.

5. Матюхин П.В., Ястребинский Р.Н., Широков А.В. Основные физико-механические характеристики магнетита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2016. - №9. - С. 189–195

*Куликов Д. Е., Анкарьян А. С., Шрейдер И.В.
Научный руководитель: Анкарьян А.С., д-р техн. наук, проф.
Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники, г. Томск, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ БЕЛОЖГУЩЕЙСЯ ГЛИНЫ КОРНИЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Разработана экологически безопасная ресурсосберегающая технология получения теплоизоляционного материала на основе беложгущейся глины Корниловского месторождения Томской области. Рассмотрена возможность применения материала из беложгущейся глины для теплоизоляции высокотемпературных тепловых агрегатов

Ключевые слова: экология, материал, беложгущаяся, глина, плотность, теплопроводность, температура, теплоизоляция, поры.

Цель работы - разработка технологического процесса переработки беложгущейся глины Корниловского месторождения и получение из нее высокоэффективного и долговечного теплоизоляционного материала.

Тепловая изоляция применяется практически во всех отраслях промышленности. Требования к теплоизоляционным материалам: теплопроводность, плотность, огнеупорность, прочность на сжатие и водостойкость, долговечность

Для высокотемпературных процессов, например, обжига керамики, используются туннельные печи, что подчеркивает важность выбора качественного теплоизоляционного материала из Корниловского месторождения.

В качестве объекта исследования была принята туннельная печь, разработанная ГПИ-3 (Санкт-Петербург). Свод печи изолирован шамотным легковесным кирпичом, диатомовым кирпичом и диатомовой крошкой (табл. 3). Предлагается заменить диатомовую крошку на материал из беложгущейся глины Корниловского месторождения.

Теплофизические характеристики туннельной печи, (ГПИ-3, Санкт-Петербург) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Теплофизические характеристики туннельной печи

Параметры	Туннельная печь 94х1,3 м
Максимальная температура обжига, °С	1410
Расход тепла, Вт	2788800
Тепловыделение в цех, Вт	697200

Как видно из таблицы 1, потери тепла в окружающую среду занимают значительную долю в тепловом балансе печи - 25% от расхода тепла, при этом значительная доля тепловых потерь приходится на стены и свод печи [4]. Эта проблема стала актуальной для энергоёмких предприятий с высокотемпературными технологиями, т.к. постоянный рост цен на энергоносители влияет на ценовую политику предприятия и на их выживаемость в современных сложных экономических условиях [5]. Основные характеристики печи приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные параметры туннельной печи 94х1,3

№	Параметр, м	Значение
1	Общая длина	94,0
2	Длина печного канала	94
3	Общая ширина	4,06
4	Ширина канала	1,3
5	Общая высота печи	3,6
6	Высота канала в замке свода	2,59
7	Высота канала у пят свода	2,365
8	Толщина стены в зоне обжига	1,38

Для теплоизоляции туннельной печи использованы: шамотный легковесный кирпич, диатомовый кирпич и диатомовая крошка для засыпки свода (см.табл. 3), мы предлагаем заменить легковесный кирпич на наш материал из беложгущейся глины Корниловского месторождения сравни характеристики материалов в таблице 4.

Таблица 3 – Спецификация теплоизоляционных материалов для туннельной печи 94х1,3

№	Наименование	Материал	Тип	Класс	Общий вес, кг
1	Кирпич прямой 230 x 114 x 65 мм	Легковесный шамот	№5	ШЛБ – 1,0	94000

2	Кирпич прямой 230 x 114 x 65 мм	Диатомовый (трепельный) кирпич	К-2	Марка 700	17900
3	Засыпка свода	Диатомовая крошка, плотность 350 кг/м ³			26800
4	Кирпич прямой 230 x 114 x 65 мм	Материал из беложгущейся глины Корниловского месторождения			89000

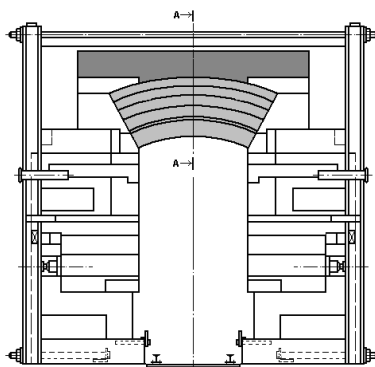


Рис. 1 – Туннельная печь 94 x 1,3

Проведён расчет потерь тепла через свод туннельной печи при использовании диатомовой крошки и гранулированной пеностеклокерамики (ПСК 200) в качестве засыпного материала, без изменения толщины слоёв.

Тепловые потери через свод туннельной печи определялись при условии:

- максимальная температура обжига 1250 °С;
- температура во всех точках свода печи постоянна во времени, т.е. температурное поле является функцией только координат;
- теплопередача установившаяся;
- тепловой поток стационарный.

Таблица 4 – Характеристики теплоизоляционных материалов

№	Характеристика	Материал из глины Корниловского месторождения	Шамотный легковесный кирпич ШЛБ-0.1	Диатомовый кирпич	Диатомовая крошка
1	Плотность, кг/м ³	800	1000	500	350

2	Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С	0,28	0.496	0,24	0,235
3	Прочность при сжатии, МПа	2,5 – 4,5	2,94	1,0-1,5	-
4	Температура эксплуатации, °С	1300	1250	1000	1000

Как видно из таблицы, при достаточно хороших характеристиках диатомовой крошки по плотности и температуре эксплуатации, она значительно уступает по прочности при сжатии материалу из беложгущейся глины Корниловского месторождения.

Расчет тепловых потерь (рисунок 2) через свод туннельной печи с использованием диатомовой крошки (вариант 1) и материала из глины (вариант 2):

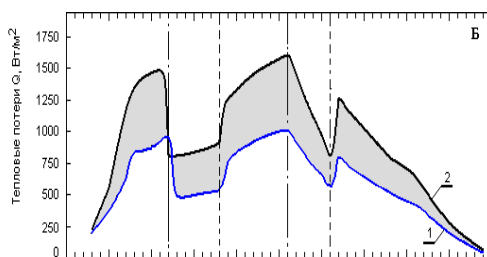


Рис. 2 – Расчет тепловых потерь через свод туннельной печи с использованием диатомовой крошки и материала из глины Корниловского месторождения

Потери тепла через свод туннельной печи при различных вариантах засыпки приведены в таблице 5. Как видно из таблицы, снижение тепловых потерь через свод туннельной печи при замене легковесного шамота на материал из глины составляет 10% - 4 269,7 Вт/м².

При использовании гранулированного пеностекла количество тепла, передаваемого теплопроводностью в 1,54 раз меньше чем в случае с диатомовой крошкой.

Таблица 5 – Тепловые потери через свод туннельной печи

Вариант	Тепловые потери Q , Вт/м ²			
	Q_1	Q_2	Q_3	$Q_{\text{общ}}$
1	Легковесный шамот			
	13485,3	16995,0	11342,5	42693,9
2	Материал из глины Корниловского месторождения			
	12682,0	14601,2	11141,0	38424,2

Q_1 , Q_2 , Q_3 – тепловые потери через свод на участках 1, 2 и 3 соответственно;

$Q_{\text{общ}}$ – общие потери тепла через свод туннельной печи.

Таким образом, использование материала из глины Корниловского месторождения вместо легковесного шамота значительно уменьшает потери количества тепла через свод, а как следствие обеспечивает экономию топливно-энергетических ресурсов и использование материала из глины обеспечивает соблюдение требований технологического регламента, позволяет эксплуатировать тепловой агрегат со значительным снижением потребления топливно-энергетических ресурсов и материальных затрат на стадии строительства и ремонтных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочное руководство для расчётов и проектирования. Промышленные печи. Москва 1975 г. Стр. 150.
2. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий: Учеб. для вузов по спец. «Пр-во строит. изделий и конструкций». - М.: Высш. к., 1989.
3. Кашеев И.Д. Эффективная теплоизоляция печных агрегатов // Строительные материалы, сентябрь 2007.
4. Кашеев И.Д. Эффективная теплоизоляция тепловых агрегатов // Огнеупоры и техническая керамика, №11, 2006.
5. Алпарьян А.С., Христюков В.Г., Смирнов Г.В. Экология и промышленность России, апрель, 2010 г., с. 13-15

Куценко П.А.

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

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

На сегодняшний день всё большее внимание уделяется экологической обстановке мегаполисов, воздух в которых, насыщен различными сложными химическими загрязнителями техногенного характера (NO_x , сажа), которые негативно влияют на здоровье людей и долговечность строительных конструкций. Одним из путей решения данной проблемы, является введение в состав строительных материалов фотокаталитических компонентов, позволяющих создать самоочищающиеся материалы, которые под воздействием естественного солнечного или искусственного света способствуют деградации загрязнению, тем самым пассивно очищают воздух [1].

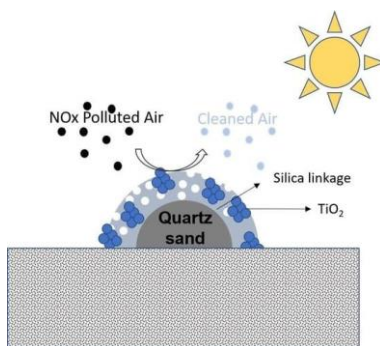


Рис. 1 – Схема процесса фотокатализа [2].

Помимо экологического улучшения окружающей среды фотокаталитические компоненты решают вопрос долговечности строительных материалов создавая более прочную структуру при формировании готового продукта. Фотокаталитические реакции реализуются за счет введения таких компонентов как: TiO_2 , ZnO , SnO_2 , MgO , ZrO_2 [3]. Однако, для строительной отрасли наиболее перспективным является диоксид титана (TiO_2), а именно его анатазная модификация, ввиду ее высокой фотокаталитической активности.

Ярким примером эффективного применения материалов с добавлением диоксида титана (TiO_2) в строительной отрасли, является церковь «Dives in Misericordia» в Риме, также известная как «Церковь Милосердия» [4], при строительстве которой, был использован фотокаталитический бетон TX Active от компании Italcementi. Благодаря правильно подобранному фотокаталитическому компоненту, стены, а также три бетонных «паруса» символизирующие духовное начало, помогают эффективно разлагать загрязнители городской среды (выхлопные газы автомобилей и отопительных систем) под воздействием солнечного света.

С точки зрения эффективного применения материалов с добавлением диоксида титана (TiO_2), стоит упомянуть про плиты с фотокаталитическим покрытием, вымощенные вдоль дороги на севере Италии, в центре города Бергамо. В нем, как и в многих прочих, плотное движение автомобилей приводит к повышенной концентрации оксидов азота (NO_x) и прочих продуктов выхлопных газов в воздухе, однако, фотокаталитический компонент позволил снизить их количество на 45%, по сравнению с соседними улицами, что существенно поспособствует очищению воздуха.

Схожим методом борьбы с выхлопными газами уже воспользовались в городе Мехико [5]. Для снижения концентрации отходов, плиты вдоль дороги были покрыты специализированным фотокаталитическим покрытием, так же на основе модифицированного диоксида титана, активирующегося воздействием солнечного света, что позволило достичь снижения уровня оксидов азота почти на треть (28%) в зоне, где проводился эксперимент.

В рамках городского благоустройства стоит выделить проект, реализованный в Амстердаме, столице Нидерландов [6, 7]. Здесь были использованы панели из бетона, с добавлением фотоактивного компонента (TiO_2). Их применяли в исторической части города, для сохранения эстетических характеристик фасадов и снижения количества загрязнений. В данном случае, в первый год эксплуатации, замеры показали снижения уровня загрязнений на 25% по сравнению с соседними улицами без схожих материалов. Данное решение не только экологически эффективно, но и в значительной мере снижает затраты на уход за фасадом, что повышает экономическую целесообразность подобных структур.

Бетон с применением фотоактивных компонентов активно используют в Японии, а именно в центре города Токио [8]. Тротуарные покрытия с введенным в состав TiO_2 показали снижение уровня загрязнений на 30%. Так же, схожий состав применяли в городе

Антверпен, Бельгия [2]. Эффективность незначительно отличается, порядка 25%.

На основании вышеперечисленных примеров можно сделать вывод, что на сегодняшний день в строительстве наиболее распространенным остается диоксид титана, благодаря своей универсальности и уникальным свойствам. TiO_2 и его композиты с SiO_2 и углеродными наноматериалами обеспечивают высокую эффективность в разложении NO_x , $\text{PM}_{2.5}$ и органических загрязнителей, улучшая экологическую обстановку в городах. Однако эффективность материалов варьируется в зависимости от типа загрязнителя и условий окружающей среды [1, 2]. Для более широкого применения фотокаталитических покрытий и бетонов необходимы дальнейшие исследования, направленные на улучшение фотоактивных свойств и адаптации материалов к условиям городской среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антоненко, М.В. Фотокаталитически активные самоочищающиеся материалы на основе цемента. Составы, свойства, применение / М.В. Антоненко, Ю.Н. Огурцова, В.В. Строкова, Е.Н. Губарева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 3.
2. Hakki, A. Photocatalytic Functionalized Aggregate: Enhanced Concrete Performance in Environmental Remediation / A. Hakki, L. Yang, F. Wang, A. Elhoweris, Y. Alhorr, D.E. Macphree // Building and Environment. – 2019. – Vol. 56. – P. 7.
3. Крушельницкая, Е.А. Оценка фотокаталитической активности бетона / Е.А. Крушельницкая // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2021. – № 4.
4. Cardellicchio, L. Self-cleaning and colour-preserving efficiency of photocatalytic concrete: case study of the Jubilee Church in Rome / L. Cardellicchio // Building Research & Information. – 2019. – Vol. 47. – P. 5–7.
5. Hakki, A. Photocatalytic Functionalized Aggregate: Enhanced Concrete Performance in Environmental Remediation / A. Hakki, L. Yang, F. Wang, A. Elhoweris, Y. Alhorr, D.E. Macphree // Building and Environment. – 2019. – Vol. 56. – P. 5–6.
6. Wang, D. Photocatalytic activities and chemically-bonded mechanism of $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ composite powders deposited on cement-based materials: Rhodamine B removal and the bonding mechanism / D. Wang, P. Hou, L. Zhang, N. Xie, P. Yang, X. Cheng // Materials Research Bulletin. – 2018. – Vol. 102. – P. 118124.

7. Aissa, A.H. Removal of hydrogen sulfide in air using cellular concrete waste: Biotic and abiotic filtrations / A.H. Aissa, E. Puzenat, P. Herrmann, C. Guillard // Applied Catalysis B: Environmental. – 2011. – Vol. 107. – P. 270.

8. Zhang, X. The effect of SiO₂ on TiO₂-SiO₂ composite film for self-cleaning application / X. Zhang, Y. Li, Z. Wang, J. Chen // Applied Surface Science. – 2017. – Vol. 402. – P. 268–269.

УДК 621.793.79

Подгорный Д.С., Бондаренко Д.О.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БЕТОН ПРИ ДЕТОНАЦИОННОМ НАПЫЛЕНИИ ПОРОШКОВ

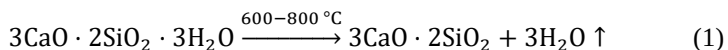
Высокотемпературное воздействие играет ключевую роль в процессах газотермических методов напыления покрытий, к которым относят детонационное напыление. Данный метод имеет ряд преимуществ, среди которых выделяют возможность формирования покрытий с использованием порошков практически любого генезиса на различные подложки, в том числе и бетон [1–3]. Используется энергия взрывов для нагрева и ускорения частиц порошка, которые затем осаждаются на поверхность с высокой скоростью. Тем не менее, процесс сопровождается значительным тепловым воздействием, способным вызывать структурные изменения в бетоне и его свойств.

Бетон, как композитный материал, состоит из цементного камня и заполнителей, характеристики которых могут сильно изменяться под воздействием высоких температур. При нагреве до определенных температур в бетоне начинаются процессы дегидратации, декарбонизации, а также полиморфные превращения минералов, что приводит к образованию микротрещин, снижению прочности и изменению его деформативных свойств [4, 5]. Эти изменения зависят от состава бетона, типа заполнителя и влажностных условий, что требует особого подхода при выборе параметров детонационного напыления.

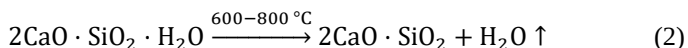
Бетон представляет собой ряд соединений, преимущественно кристаллогидратов: $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (C-S-H), $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (C-S-H(B)), $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$, $4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, они имеют свойство терять воду при нагреве и разлагать на более стабильные силикатные фазы. Основными кристаллогидратами, определяющими прочность бетона считаются

гидросиликаты кальция C-S-H и C-S-H(B), которые являются продуктами гидратации алита и белита (C_3S и C_2S).

При температуре выше 600–800 °C происходит дегидратация C-S-H:



C-S-H(B), который образуется при гидратации белита на поздних стадиях твердения, также разлагается при повышении температуры, но его состав отличается более низким соотношением Ca/Si. Разложение происходит аналогично C-S-H с дегидратацией при температуре 600–800 °C:



Из представленных уравнений видно, что при повышении температуры гидросиликаты кальция теряют связанную воду и постепенно превращаются в безводные силикатные фазы.

На основе приведенных автором данных [6] можно выделить несколько важных аспектов, которые стоит учитывать при детонационном напылении на бетон:

- при температуре до 200 °C происходит испарение влаги и незначительное изменение свойств, следует избегать резкого нагрева, чтобы не вызвать образование микротрещин;

- между 200 и 400 °C наблюдается уплотнение структуры цементного камня, что может быть полезно для создания более плотного и устойчивого покрытия, однако стоит избегать температур выше 300 °C, поскольку здесь начинается дегидратация кальция, что приводит к микротрещинам;

- при температуре выше 600 °C начинается процесс дегидратации, также в этом температурном диапазоне находится фазовый переход кварца из α модификации в β (573 °C);

- при температуре выше 900 °C происходит разложение $CaCO_3$ до монооксида кальция и углекислого газа;

- тип заполнителя определяет оптимальные температуры и скорость нагрева, которые необходимо учитывать при напылении;

- скорость нагрева и охлаждения не должна превышать 1–10 °C/мин, чтобы избежать растрескивание бетона, также следует учитывать, что продолжительное воздействие высокой температуры может значительно снизить прочность и вызвать структурные дефекты;

– оптимальные температуры для напыления находятся в диапазоне 100–300 °С, когда цементный камень еще не подвергается значительным изменениям;

– следует учитывать возможное расширение заполнителя и усадку цементного камня, что поможет минимизировать механические напряжения и улучшить адгезию покрытия;

– покрытия должны быть термостойкими и обладать высоким коэффициентом теплопроводности для равномерного распределения тепла.

Таким образом, подбор режимов напыления должен основываться на контроле температуры и скорости нагрева, а также на учете типа заполнителя и структурных особенностей бетона.

В настоящее время уже существует ряд работ, посвящённых термическому напылению на бетон. Так, авторы [7] исследовали возможность применения плазменного термического напыления для создания муллитовых покрытий на бетонной поверхности с целью повышения долговечности. Муллит выбран благодаря близкому к бетону коэффициенту теплового расширения ($5,3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), что способствует хорошей адгезии и снижению остаточных напряжений. Эксперименты показали, что адгезионная прочность покрытия составляет в среднем 3,82 МПа и превышает прочность бетона на растяжение на 17 %.

Изучена адгезионная прочность цинкового покрытия, нанесённого методом дугового напыления на бетонные поверхности [8], которая возрастает с увеличением шероховатости поверхности: для шероховатости 0,062 мм прочность сцепления составила 1,93 МПа, для 0,108 мм – 2,21 МПа. Однако при низкой температуре и гладкой поверхности наблюдалось снижение прочности сцепления до 0,87 МПа, что подчёркивает зависимость термического воздействия от микроструктуры бетона.

Исследование металлических покрытий [9], нанесённых на бетонные конструкции, акцентировало внимание влияния на устойчивость к озону. Температура напыления была важна для формирования покрытия, особенно для сплавов Zn/Al, которые потеряли до 340,4 г/м² массы при озоновом воздействии. Титановые покрытия, напротив, проявили лучшую термостойкость, теряя всего 1,3 г/м². Адгезия покрытия с бетоном увеличивалась после обработки поверхности герметизирующим составом, достигая 3,15–3,24 МПа, что свидетельствует о значительном термическом воздействии при напылении и его влиянии на сцепление.

Ввиду вышеизложенного, детонационное напыление представляет собой перспективный метод создания функциональных покрытий на бетоне, который позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики строительных конструкций. Он отличается высокой эффективностью благодаря использованию энергии взрыва для ускорения частиц порошка, что обеспечивает высокую адгезию и низкую пористость покрытий. Однако в процессе напыления бетон подвергается значительному тепловому воздействию, которое может существенно изменить его физико-механические свойства (снизить прочность, образовать микротрещины, увеличить пористость и др.). Для минимизации негативных последствий важно контролировать температурные режимы, поддерживая нагрев в пределах 100–300 °С, где изменения структуры бетона менее выражены, а также избегать резких перепадов температуры бетона в процессе напыления.

Детонационное напыление может стать эффективным инструментом для создания полифункциональных покрытий, повышающих износостойкость, термическую и химическую стойкость бетона, а также наделять его уникальными свойствами.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sova, A. Development of multimaterial coatings by cold spray and gas detonation spraying / A. Sova, D. Pervushin, I. Smurov // Surface and Coatings Technology. – 2010. – Vol. 205. – Issue 4. – P. 1108–1114.
2. Ulianitsky, V. Computer-controlled detonation spraying: from process fundamentals toward advanced applications / V. Ulianitsky, A. Shtertser, S. Zlobin, I. Smurov // Journal of Thermal Spray Technology. – 2011. – Vol. 20. – P. 791–801.
3. Batraev, I.S. Detonation spraying of copper: theoretical analysis and experimental studies / I.S. Batraev, V.Yu. Ulianitsky, D.V. Dudina // Materials Today: Proceedings. – 2017. – Vol. 4. – Issue 11. – P. 11346–11350.
4. Бессмертный, В.С. Плазмохимическое модифицирование стеновых строительных материалов / В.С. Бессмертный, О.В. Пучка, Д.О. Бондаренко, И.А. Антропова, Л.Л. Брагина // Строительные материалы и изделия. – 2018. – Т. 1. – № 2. – С. 11–18.
5. 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.

6. Леонович, С.Н. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях: монография: в 2 ч. Ч. 1 / С.Н. Леонович, Д.А. Литвиновский, О.Ю. Чернякевич, А.В. Степанова. – Минск: БНТУ, 2016. – 393 с.

7. Shi, Y. Application of thermal spraying technology in concrete surface ceramic-based coating / Y. Shi, Y. Wang, X. Lv, W. Jiang, C. Wu // Coatings. – 2024. – Vol. 14. – Issue 7. – Article number 885.

8. Legoux, J.G. Adhesion mechanisms of arc-sprayed zinc on concrete / J. Legoux, S. Dallaire // Journal of Thermal Spray Technology. – 1995. – Vol. 4. – Issue 4. – P. 395–400.

9. Park, J.-H. Ozone resistance, water permeability, and concrete adhesion of metallic films sprayed on a concrete structure for advanced water purification / J.-H. Park, J.K. Singh, H.-S. Lee // Coatings. – 2017. – Vol. 7. – Issue 3. – Article number 41.

УДК 621.784.6.06

Рязанова А.Ю., Голец А.А., Вициенко М.И.

Научный руководитель: Строкова В.В. д-р. техн. наук, проф.

***Белгородский государственный технологический университет
им В. Г. Шухова, Белгород, Россия***

ЗАКАЛОЧНЫЕ СРЕДЫ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Одним из распространенных способов преобразования и улучшения как физико-механических, физико-химических свойств, так и структурных особенностей металлов и сплавов является тепловое воздействие – термическая обработка, составляющая любого технологического процесса получения металлических конструкций и деталей [1, 2]. Одним из ключевых этапов этого процесса является закалка, в ходе которой сталь подвергается резкому охлаждению для достижения необходимых характеристик. Выбор закалочной среды оказывает значительное влияние на конечные свойства стали, и в данной статье мы рассмотрим традиционные и новые подходы к закалке, а также их влияние на качество изделий.

1. *Вода и водные растворы.* Вода является одной из самых распространенных закалочных сред благодаря своей доступности и

низкой стоимости. Однако использование воды в процессе закалки имеет свои недостатки:

- Высокая скорость охлаждения. При закалке в воде сталь охлаждается слишком быстро, что может привести к возникновению внутренних напряжений и образованию трещин. Это особенно критично для углеродистых сталей, которые имеют высокую склонность к образованию трещин при резком охлаждении.

- Окалина и коррозия. Вода может привести к образованию окислов на поверхности стали, что ухудшает качество готового изделия. Кроме того, влага может способствовать коррозии, если детали не были должным образом обработаны после закалки.

Для улучшения свойств водных закалочных сред используются различные добавки, такие как соли и щелочи, которые могут повысить температуру кипения и улучшить охлаждающие характеристики. Однако такие растворы требуют тщательного контроля и могут быть более затратными в производстве.

2. *Масло.* Масло является альтернативой воде и обладает рядом преимуществ:

- Низкая скорость охлаждения. Закалка в масле обеспечивает более плавное охлаждение, что снижает риск образования трещин и других дефектов. Это особенно важно для легированных сталей, которые могут быть более чувствительными к резкому изменению температуры.

- Устойчивость к дефектам. Масло формирует защитную пленку на поверхности стали, что помогает предотвратить образование коррозии и окислов.

При использовании масла также имеются и недостатки, в связи с его высокой воспламеняемостью и относительно высокой стоимостью, в сравнении с водой. Ввиду чего, выше представленные недостатки традиционно используемых закалочных сред требуют пересмотра и использования совершенно новых составов, что поспособствует решению следующих задач производства:

1. Неустойчивое охлаждение (пленочное кипение – при закалке в воде, контроль температурного режима и состава – при закалке в масле);

2. Экологичность (испарение ядовитых паров при закалке в масле);

3. Безопасность (воспламеняемость масла и усиление контроля при работе на производстве).

В качестве альтернативной закалочной средой актуальным является применение водных эмульсий, а также растворов на основе полимера [3, 4]. Ввиду своей структуры такая эмульсия способствует

контролю скорости охлаждения, адаптируя процесс термической обработки под индивидуальный запрос, особенно такие закалочные среды хороши для закалки деталей со сложной структурой. Из-за характерного состава, использование полимерной эмульсии при повышенных температурах способствует повышению экологичности и снижению рисков в безопасности в масштабах производства, так как не воспламеняемы и не выделяют вредных веществ в процессе использования.

Помимо данных преимуществ, стоит отдельно отметить устойчивость полимерных эмульсий на водной основе к коррозии. Полимерные компоненты в составе эмульсий помогают предотвратить образование коррозии на поверхности стали, что увеличивает срок службы изделий и снижает затраты на их обслуживание.

Водополимерные эмульсии можно разделить на две основные группы:

1. Эмульсии с осаждением полимеров. Эти эмульсии создают защитный слой на поверхности стали, который предотвращает коррозию и улучшает адгезию. Они могут использоваться в различных процессах термической обработки, включая закалку и отпуск.

2. Эмульсии с образованием пленки. Эти эмульсии формируют пленку, стабилизирующую паровую рубашку, что позволяет контролировать скорость охлаждения и улучшает эффективность процесса закалки. Это особенно полезно для деталей, требующих точного контроля температуры.

Водополимерные эмульсии находят применение в различных отраслях, не только строительного материаловедения, но и включая автомобилестроение, авиацию и машиностроение [5, 6]. Их использование позволяет, за счет уменьшения затрат на сырье и уменьшения отходов, снизить себестоимость производства; благодаря равномерному охлаждению и снижению риска образования дефектов, улучшить качество изделий; за счет снижения огнеопасности и токсичности, повысить безопасность.

Выбор закалочной среды является критически важным этапом в процессе термической обработки стали. Традиционные методы, такие как использование воды и масла, имеют свои недостатки, что делает актуальными исследования в области новых закалочных сред, таких как водополимерные эмульсии. Таким образом, переход к новым технологиям закалки открывает новые горизонты для повышения эффективности и безопасности в производстве, что является важным шагом в развитии металлургической отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гордиенко, А.И. Влияние режимов термической обработки на структуру и свойства стали 08X18H6AG10C / А.И. Гордиенко, Е.В. Абдульменова, Т.В. Козлова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2024. – Т. 67, № 2. – С. 195-204
2. Илларионов, А.Г. Влияние температуры нагрева под закалку на структуру, фазовый состав, физические и механические свойства высокопрочного сплава титана мартенситного класса / А.Г. Илларионов, С.Л. Демаков, С.М. Илларионова [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2024. – № 5(827). – С. 30-38.
3. Ошурина, Л.А. Исследование структуры стали 10 после закалки в полимерных средах / Л.А. Ошурина // Colloquium-Journal. – 2020. – № 6-1(58). – С. 50-52.
4. Шевченко, С.Ю. Сравнительная оценка технологических возможностей полимерных закалочных сред / С.Ю. Шевченко. – Текст : непосредственный // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 3. – С. 339-356.
5. Строкова, В.В. Анализ способов получения алкидной эмульсии на водной основе / В.В. Строкова, Э.М. Ишмухаметов, А.Ю. Есина [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 7. – С. 43-48.
6. Никулина, М.В. Гидрофобизация водно-дисперсионного лакокрасочного материала эмульсией полиэтилгидросилоксана / М. В. Никулина, А. Ю. Рязанова, В. В. Строкова [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2024. – Т. 32, № 4. – С. 451-456.

Оглавление

Бахарева Е.В.

ЭКОЛОГИЧНЫЙ ПЛИТНЫЙ МАТЕРИАЛ ИЗ БЕРЕСТЫ 3

Воробьев Е.Л.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕМЗЫ: УНИКАЛЬНЫЙ
МАТЕРИАЛ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ
РОССИИ..... 6

Гаручава М.Ю., Иванов Д.В.

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО
СЫРЬЯ 10

Данилов Д.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
БЕТОННОГО ЛОМА В КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ БЕТОННОЙ
СМЕСИ..... 15

Данилов Д.Ю., Чашин Д.Ю., Толыпин Д.А.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АГРЕССИВНЫХ СУЛЬФАТНЫХ СРЕД НА
БЕТОННЫЕ ОБРАЗЦЫ ПОСРЕДСТВОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ
ДИАГНОСТИКИ..... 19

Дудченко В.А.

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ОТРАСЛЬ: АНАЛИЗ
СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ..... 24

Иванов Д.В., Гаручава М.Ю.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ
САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ БЕТОНОВ..... 28

Куликов Д. Е., Апкарьян А. С., Шрейдер И.В.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕЛОЖГУЩЕЙСЯ ГЛИНЫ КОРНИЛОВСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ 31

Куценко П.А.

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	36
--	----

Подгорный Д.С., Бондаренко Д.О.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БЕТОН ПРИ ДЕТОНАЦИОННОМ НАПЫЛЕНИИ ПОРОШКОВ	39
---	----

Рязанова А.Ю., Голец А.А., Вициенко М.И.

ЗАКАЛОЧНЫЕ СРЕДЫ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ	43
---	----