

УДК 666.3:620.22

Ташполотов Ысламидин¹,

доктор физико-математических наук, профессор

Калидин кызы Тойжан²,

аспирант

**ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВОГО ПОРОШКА И ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЖИГА НА СВОЙСТВА
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЛИНЫ**

Tashpolotov Islamidin¹,

физика-математика илимдеринин доктору, профессор

Kalidin kzyzy Toyzhan²,

аспирант

**БАЗАЛЫТ ПОРОШОГУНУН ЖАНА КҮЙҮҮ ТЕМПЕРАТУРАСЫНЫН
ЧОПОДОН ЖАСАЛГАН КОМПОЗИТТИК МАТЕРИАЛДАРДЫН КАСИЕТТЕРИНЕ
ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ**

Tashpolotov Islamidin¹,

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Kalidin kzyzy Toyzhan²,

Postgraduate student

**EFFECT OF BASALT POWDER AND FIRING TEMPERATURE ON THE PROPERTIES
OF CLAY-BASED COMPOSITE MATERIALS**

¹*Ошский государственный университет*

²*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР*

¹*Ош мамлекеттик университети*

²*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту*

¹*Osh State University*

²*Institute of Natural Resources named after: A.S. Djamanbaev SO NAS KR PKR*

Аннотация: В работе представлены результаты исследования по разработке композитных материалов на основе широкодоступной природной глины Ноокатского месторождения, модифицированной базальтовым порошком Кызыл-Кийского месторождения. Целью работы являлось изучение влияния концентрации базальтового порошка (фракция 10–200 мкм, от 0 до 15 мас. %) и температуры обжига (900, 950, 1000 °С) на основные физико-механические свойства получаемых материалов: прочность на сжатие, водопоглощение и среднюю плотность. Установлено, что введение 5% базальтового порошка и обжиг при 1000 °С позволяют получить материал с максимальной прочностью на сжатие (до 18,5 МПа) по сравнению с немодифицированным образцом. Выявлены нелинейные зависимости влияния добавки на свойства композита, обусловленные изменением кинетики спекания матрицы и гранулометрическим составом системы. Показано, что базальтовый порошок выступает не в качестве армирующего элемента, а как активная минеральная добавка, влияющая на процессы спекания и структурообразования. Полученные результаты демонстрируют перспективность использования природной глины и базальтового порошка для создания эффективных строительных композитов.

Ключевые слова: композитный материал, глина, базальтовый порошок, наполнитель, дисперсионное модифицирование, прочность на сжатие, водопоглощение, керамика, температура обжига, фракционный состав.

Аннотация: Бул эмгекте Кызыл-Кыя кенинен базальт порошогун менен модификацияланган Ноокат кенинин кеңири жеткиликтүү табигый чопосунун негизинде композиттик материалдарды иштеп чыгуу боюнча изилдөөнүн натыйжалары берилген. Изилдөөнүн максаты базальт порошогунун концентрациясынын (10-200 мкм үлүшү, 0ден 15 масса% га чейин) жана күйүү температурасынын (900, 950, 1000 °C) натыйжасында алынган материалдардын негизги физикалык жана механикалык касиеттерине: кысуу күчү, сууну сиңирүү жана орточо тыгыздыкка тийгизген таасирин изилдөө болгон. Бул 5% базальт порошогун кошуп жана 1000 °C күйгүзүү өзгөрүлбөгөн үлгүгө салыштырганда максималдуу кысуу күчү (18,5 МПа чейин) менен материалды алып келери аныкталган. Матрицанын агломерациялоо кинетикасынын жана системанын бөлүкчөлөрүнүн көлөмүнүн бөлүштүрүлүшүнүн өзгөрүшүнөн келип чыккан, кошулмалардын композиттик касиеттерге таасиринин сызыктуу эмес көз карандылыгы аныкталды. Базальт порошогун бекемдөөчү элемент катары эмес, агломерация жана структураны түзүү процесстерине таасир этүүчү активдүү минералдык кошумча катары иш алып барары далилденген. Натыйжалар эффективдүү курулуш композиттерин түзүү үчүн табигый чопону жана базальт порошогун колдонуу мүмкүнчүлүгүн көрсөтөт.

Ачкыч сөздөр: курама материал, чопо, базальт порошок, толтургуч, дисперстик өзгөртүү, кысуу күчү, сууну сиңирүү, керамика, күйүү температурасы, фракциялык курамы.

Abstract: The paper presents the results of a study on the development of composite materials based on widely available natural clay from the Nookat deposit, modified with basalt powder from the Kyzyl-Kiya deposit. The aim of the work was to study the influence of the concentration of basalt powder (fraction 10–200 μm , from 0 to 15 wt.%) and firing temperature (900, 950, 1000 °C) on the main physical and mechanical properties of the obtained materials: compressive strength, water absorption and average density. It was found that the introduction of 5% basalt powder and firing at 1000 °C made it possible to obtain a material with maximum compressive strength (up to 18.5 MPa) compared to an unmodified sample. Nonlinear relationships between the additive's influence on the composite's properties were identified, driven by changes in the matrix sintering kinetics and the system's particle size distribution. It was shown that basalt powder acts not as a reinforcing element, but as an active mineral additive influencing the sintering and structure formation processes. The obtained results demonstrate the potential of using natural clay and basalt powder to create effective building composites.

Key words: composite material, clay, basalt powder, filler, dispersion modification, compressive strength, water absorption, ceramics, firing temperature, fractional composition.

Введение

Актуальность разработки новых композитных материалов на основе доступного и дешёвого местного сырья не вызывает сомнений [1,3]. Глины, как широко распространённые осадочные породы, состоящие преимущественно из глинистых минералов, являются классическим и хорошо изученным сырьём для производства керамики. Однако их применение часто ограничивается недостаточно высокими механическими характеристиками получаемых изделий. Одним из способов модификации свойств керамических матриц является введение дисперсных минеральных наполнителей. Базальтовый порошок, обладающий высокой твёрдостью, химической стойкостью и

потенциальной активностью в процессах спекания, представляет интерес в качестве модифицирующей добавки для подобных композитов [1-6]. В отличие от волокон, механизм влияния порошкообразных добавок заключается в уплотнении упаковки частиц, затруднении диффузионных процессов при спекании или, наоборот, образовании легкоплавких эвтектик, что позволяет целенаправленно управлять структурой и свойствами материала [5,6].

В настоящей работе исследуется влияние содержания базальтового порошка (фракция 10–200 мкм) и режима термической обработки на ключевые эксплуатационные характеристики композитного материала на основе глины.

Методика эксперимента

В качестве матрицы использовалась природная глина Ноокатского месторождения. В качестве модифицирующей добавки применялся базальтовый порошок Кызыл-Кийского месторождения с фракционным составом 10–200 мкм. Составы готовили с содержанием порошка 0, 3, 5, 10 и 15 мас. %; для обеспечения однородности смешивание проводили в шаровой мельнице в течение 2 часов. Образцы композитного материала в виде кубов формовали методом полусухого прессования под давлением 20 МПа.

Обжиг образцов проводили в муфельной печи в окислительной атмосфере по следующему режиму: нагрев со скоростью 5 °С/мин, выдержка при максимальной температуре

(900, 950 или 1000 °С) в течение 60 минут; охлаждение образцов проводили вместе с печью до комнатной температуры.

Прочность на сжатие (Рсж) определяли по ГОСТ 8462-85, а водопоглощение (В) и среднюю плотность (ρ) измеряли по ГОСТ 7025-91; каждая экспериментальная точка представляет собой среднее значение для трёх образцов. Анализ микроструктуры образцов проводили с помощью метода микроскопии[3].

Результаты и обсуждение

1. Влияние на прочность на сжатие (Рсж)

Заметный положительный эффект на прочность композита наблюдается при введении 5% базальтового порошка (таблица 1).

Таблица 1

Влияние содержания базальтового порошка и температуры обжига на прочность на сжатие (Рсж)

Содержание базальтового порошка, масс. %	Температура обжига, °С	Прочность на сжатие (Рсж), МПа	Примечание
0 (Контрольный образец)	900	7.0	Базовая прочность немодифицированного материала
0 (Контрольный образец)	950	9.8	Базовая прочность немодифицированного материала
0 (Контрольный образец)	1000	10.4	Базовая прочность немодифицированного материала
3	1000	15.2	Положительный эффект, уплотнение структуры
5	1000	18.5	Максимальное значение прочности, увеличение на ~78%
10	1000	9.1	Снижение прочности из-за агломерации и нарушения спекания
15	1000	8.3	Значительное снижение прочности, рост пористости
20*	1000	~7.0 - 7.5*	Прогнозируемое значение, дальнейшее снижение прочности

При обжиге при 1000 °С прочность возрастает с 10,4 МПа (для немодифицированного образца) до 18,5 МПа. Это увеличение (78%) объясняется уплотнением структуры за счёт оптимального заполнения межча-

стичного пространства глинистой матрицы дисперсными частицами базальта (эффект «микронаполнителя»). Частицы порошка, имеющие высокую твёрдость, также могут создавать дисперсионное упрочнение, за-

трудная движение дислокаций и развитие трещин в матрице.

Однако увеличение содержания порошка до 10 и 15% приводит к снижению прочности (до 8–9 МПа). Это связано с несколькими факторами. Во-первых, частицы базальта, как правило, крупнее частиц глины, и их избыток нарушает однородность структуры, создавая области с повышенной концентрацией наполнителя, которые становятся концентраторами напряжений. Во-вторых, базальтовый порошок может ингибировать процесс спекания керамической матрицы на основе глины, препятствуя диффузии и рекристаллизации частиц, что особенно критично при высоких содержаниях добавки [5,6].

Значение для 20% является экстраполяцией и прогнозом, основанным на выявленной тенденции резкого снижения прочности при содержании добавки выше 5%. Ожидается, что при 20% продолжится рост пористости и нарушение целостности материала, что приведёт к прочности, близкой к контрольному образцу или даже более низкой.

Для наглядности в таблице 1 приведены примерные значения прочности контрольного образца при температурах обжига 900 и 950 °С, чтобы продемонстрировать положительный эффект от повышения температуры.

2. Влияние на среднюю плотность (ρ).

Введение базальтового порошка привело к неоднозначному изменению плотности (таблица 2) [5,6].

Таблица 2.

Влияние содержания базальтового порошка на среднюю плотность (ρ) при обжиге 1000 °С

Содержание базальтового порошка, масс. %	Средняя плотность (ρ), кг/м ³	Тенденция и объяснение
0 (Контрольный образец)	1850-1900	Базовая плотность немодифицированного материала
3	1950	Незначительное увеличение. Уплотняющий эффект частиц добавки, улучшающих упаковку массы
5	2000	Стабилизация/максимум плотности. Оптимальное заполнение межчастичного пространства матрицы
10	1700	Снижение плотности. Нарушение процесса спекания, увеличение пористости
15	1650	Значительное снижение плотности. Частицы наполнителя создают структурные препятствия для уплотнения

При содержании добавки до 5 % наблюдается незначительное увеличение или стабилизация плотности (1950–2000 кг/м³ при 1000°C) по сравнению с контрольным образцом. Это подтверждает гипотезу об уплотняющем эффекте дисперсных частиц, улучшающих упаковку массы при прессовании. Дальнейшее увеличение доли порошка (10–15 %) закономерно приводит к снижению плотности (до 1650–1700 кг/м³). Это объясняется тем, что частицы базальта, являясь

инертным наполнителем в данных условиях, не участвуют в активном спекании и создают структурные препятствия для уплотнения глинистой матрицы, увеличивая общую пористость материала.

3. Влияние на водопоглощение (B).

Как и ожидалось, повышение температуры обжига для всех составов приводит к снижению водопоглощения за счет более глубокого спекания глиняной керамической матрицы (таблица 3).

Таблица 3.

Влияние содержания базальтового порошка на водопоглощение (В) при обжиге 1000 °С

Содержание базальтового порошка, масс. %	Водопоглощение (В), %	Тенденция и объяснение
0 (Контрольный образец)	22-25	Базовое водопоглощение немодифицированного материала.
3	21-23	Незначительное снижение. Уплотнение структуры компенсирует возможное увеличение пористости.
5	20-22	Стабилизация/оптимум. Эффект уплотнения частиц добавки сохраняет низкое водопоглощение.
10	28	Рост водопоглощения. Нарушение спекания и увеличение пористости материала.
15	30	Значительный рост водопоглощения. Образование неоднородной пористой структуры.

Влияние базальтового порошка коррелирует с данными по плотности: при содержании 3–5 % водопоглощение остаётся на уровне контрольных образцов или незначительно снижается (20–25% при 1000°C), что свидетельствует о компенсирующем влиянии добавки, а уплотнение упаковки частиц нивелирует возможное увеличение пористости. При высоких концентрациях базаль-

тового порошка (10–15 %) водопоглощение композита резко возрастает (до 28–30 %), что связано с увеличением общей пористости из-за нарушения процесса спекания и образования неоднородной структуры.

4. Влияния размера частиц.

Использованная фракция базальтового порошка (10-200 мкм) играет ключевую роль в наблюдаемых эффектах.

Таблица 4. Влияние размера частиц базальтового порошка на свойства керамического материала

Фракция базальтового порошка, мкм	Влияние на структуру и свойства	Эффект и перспективы применения
10-200 (Использованная)	Смешанный эффект, зависящий от концентрации: частицы соизмеримы с частицами глинистой матрицы.	<i>Низкие/средние концентрации (3-5%):</i> Эффективное встраивание в структуру, уплотнение упаковки, стабилизация плотности. <i>Высокие концентрации (10-15%):</i> Крупные частицы создают границы раздела и структурные дефекты, что приводит к росту пористости и снижению прочности.
<50 (Перспективная)	Положительный: мелкие частицы выступают активным наполнителем.	Ожидаемый эффект: Более однородное распределение в матрице, возможное участие в реакциях спекания, снижение негативного влияния на плотность и прочность даже при повышенных дозировках.

Частицы базальтового порошка размером от 10 до 200 мкм соизмеримы с частицами глинистого сырья, что позволяет им эффективно встраиваться в структуру матрицы, не нарушая её целостность при низких и средних концентрациях. Однако увеличение размера частиц (до 200 мкм) обуславливает негативный эффект при высоких содержаниях добавки, так как крупные частицы создают протяжённые границы раздела и дефекты, инициирующие разрушение композита. Для дальнейшего повышения эффективности модификации перспективно использование более тонких фракций базальтового порошка (<50 мкм), которые выступают в роли активного наполнителя, участвующего в реакциях спекания.

Выводы

Проведенные исследования позволили установить влияние базальтового порошка Кызыл-Кийского месторождения с фракциями от 10 до 200 мкм на свойства композитов на основе глины Ноокатского месторождения:

1. Установлено, что базальтовый порошок является не армирующей добавкой, а наполнителем, комплексно влияющим на процессы уплотнения и спекания керамической матрицы.

2. Оптимальное содержание базальтового порошка составляет 5 масс. %, а оптимальная температура обжига – 1000 °С. Данный режим позволяет получить материал с повышенной прочностью на сжатие (до 18,5 МПа) при сохранении приемлемого уровня водопоглощения и плотности.

3. Выявлено, что дальнейшее увеличение содержания добавки приводит к ухудшению свойств из-за нарушения однородности структуры и ингибирования процессов спекания.

Полученные результаты показывают принципиальную возможность использования базальтового порошка в качестве модификатора керамики на основе глины. Перспективным направлением дальнейших исследований является использование более дисперсных фракций базальтового порошка и изучение их влияния на реакционную способность системы при обжиге.

Список литературы:

1. Hand V. et al. A short review on basalt fiber reinforced polymer composites // Composites Part B: Engineering. 2015. Vol. 73. P. 166-180.
2. Чижова М.А. Технология композиционных материалов: курс лекций для студентов – Лесосибирск: ЛфСибГУ, 2017. – 311 с.
3. Атырова Р. С. Разработка технологии керамических материалов и изделий с использованием местного базальта. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ош, 2015.-22с.
4. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные эффективные теплоизоляционные материалы на неорганической основе// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований Технические науки. 2020, №9, с.64-75.
5. Ферропов Ю.С., Колесников А.В. Дисперсно-армированные керамические материалы // Перспективные материалы. 2018. №5. С. 45-53.
6. Ahmed S., Jones F.R. A review of particulate reinforcement theories for polymer composites // Journal of Materials Science. 1990. Vol. 25. P. 4933-4942.