



АЙДАРАЛИЕВ Ж. К., КАЙНАЗАРОВ А. Т., АБДЫКАЛЫК КЫЗЫ ЖЫПАРГҮЛ.

¹Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика

²Институт физики имени Ж. Жеенбаева Национальной Академии наук КР, Бишкек, Кыргызская Республика

AYDARALIEV ZH., KAINAZAROV A. T., ABDYKALYK KYZY ZHYPARGUL.

¹KSUCTA n. a. N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic

²Institute of Physics named after J. Jeenbaev National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

janlem@mail.ru, askar.kainazarov1@mail.ru, gold_chingiz@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН

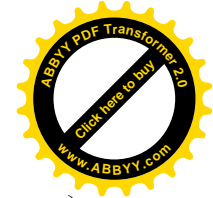
STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CERAMIC COMPOSITE BASED ON WASTE OF BASALT FIBER PRODUCTION

Композиттик материалдарды өндүрүүдө бекемдегич катары жергиликтүү базальт буларын өндүрүүдө топтолгон калдыктарды колдонуу табигый базальты сарамжалдуу пайдаланууга өбөлгө түзүп, кошумча сырелук база калыптанат.

Макалада, өлчөмү 0,315мм–ден кичине болгон базальт буласы өндүрүшүнүн калдыктарынын фракциялык составын, композиттик материал өндүрүүдө бекемдегич катары колдонуу мүмкүнчүлүгү көрсөтүлдү. Калыпка келтирүүнүн пластикалык ыкмасынын жардамында өндүрүш калдыктарынын негизинде композиттик үлгүлөр алынды. Алынган керамикалык композиттердин физика–механикалык мүнөздөмөлөрү физикалык жана техникалык сыноолор аркылуу аныкталды. Физикалык жана техникалык сыноолордун натыйжасында алынган эксперименталдык маалыматтарды иштеп чыгуу эң кичине квадраттар ыкмасы менен жүргүзүлдү. Керамикалык композиттин кысуудагы бекемдик чени, өлчөмү 0,315мм–ден кичине фракциялык курамдагы базальт эритиндисинин көлөмүн жана бышыруу температурасынын жогорку маанисинде жогорулай тургандыгы көрсөтүлдү.

Өзөк сөздөр: *фракциялык курам, майдалоодон топтолгон калдык, базальт эритиндисинин калдыгы, бышыруу температурасы, бышыруу убактысы, композит, эксперименталдык статистикалык моделдештирүү.*

Использование накопленных отходов производства базальтовых волокон из местного сырья при получении композиционных материалов способствует рациональному использованию природного базальта и формирует дополнительную сырьевую базу. В данной работе были использованы отходы производства базальтовых волокон, имеющие фракционный состав с размерами менее 0,315 мм, в качестве наполнителя композита. Методом пластичного формования получены опытные образцы керамических композитов на основе отходов производства базальтовых волокон. Далее методами физико-технических испытаний проведено экспериментальное исследование по определению физико-механических свойств полученного композиционного материала. Для обработки экспериментальных данных, полученных в результате физико-технических испытаний образцов, использован метод наименьших квадратов. Установлено, что прочность керамического композита увеличивается при максимальном количестве отхода базальтового расплава фракций менее 0,315 мм и высокой температуре обжига.



Ключевые слова: фракционный состав, отходы дробления сырья, отходы базальтового расплава, температура обжига, время обжига, композит, экспериментально-статистическое моделирование.

The use of accumulated waste from the production of basalt fibers from local raw materials in the production of composite materials contributes to the rational use of natural basalt and forms an additional raw material base. In this work, waste products from the production of basalt fibers, having a fractional composition with sizes less than 0,315 mm, were used as a composite filler. Using the plastic molding method, prototypes of ceramic composites based on waste products from the production of basalt fibers were obtained. Further, by the methods of physical and technical tests, an experimental study was carried out to determine the physical and mechanical properties of the resulting composite material. The method of least squares was used to process the experimental data obtained as a result of physical and technical tests of the samples. It has been established that the strength of the ceramic composite increases with the maximum amount of waste of the basalt melt fractions less 0,315mm and high firing temperature.

Key words: fractional composition, raw material crushing waste, basalt melt waste, firing temperature, firing time, composite, experimental-statistical modeling.

Введение. Известно, что композит – это материал, состоящий из двух или более компонентов, сочетание составляющих компонентов позволяет получить улучшенные свойства, которые ни один из компонентов не проявляет, если существует как отдельная фаза [1, 2].

Наиболее освоенным методом улучшения физико-механических и других показателей композиционных материалов является подбор компонентов и количественного соотношения связующих веществ и армирующих наполнителей.

Использование отходов производства базальтовых волокон дает дополнительную сырьевую базу для создания композиционных материалов с низкой себестоимостью и с достаточными эксплуатационными свойствами.

В работе [3] с помощью математического моделирования оптимизирован состав шихты для производства строительной керамики с высокой прочностью при сжатии на основе малопластичной глины с добавлением местных отходов: гальванического шлама и боя листового стекла.

Методом магнитной сепарации измельченный базальт был разделен на магнитно-обогащенную и магнитно-обедненную фракции [4]. Далее определен их химический состав, а также исследован процесс спекания магнитной и немагнитной фракций измельченного базальта и изучены некоторые свойства полученных образцов керамических материалов.

Автором [5] проведены исследования фазовых превращений при обжиге образцов оптимальных составов, мас. %: 1) бейделлитовая глина – 65, «королек»-35; 2) бейделлитовая глина – 65, продукт очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты-35.

В статье [6] приведены результаты исследования по разработке армированных полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена. В качестве его наполнителя использованы отходы производства базальтового волокна.

Целью настоящей работы является исследование физико-механических характеристик керамического композита на основе отходов производства базальтовых волокон.

Для анализа и исследования были использованы методы физико-технических испытаний и экспериментально-статистического моделирования.

Материалы эксперимента. Отходы производства базальтовых волокон, измельченных шаровой мельницей, имеющий фракционный состав с размерами менее 0,315мм [7, 8].



Фракционный состав менее 0,315мм отхода дробления сырья содержит изометричные и неправильные обломки кристаллов. Отходы расплава при волокнообразовании содержит угловатые обломки неправильной формы – удлиненные кристаллы, реже шарики. На рис. 1-2 показаны оптические снимки отходов производства базальтовых волокон

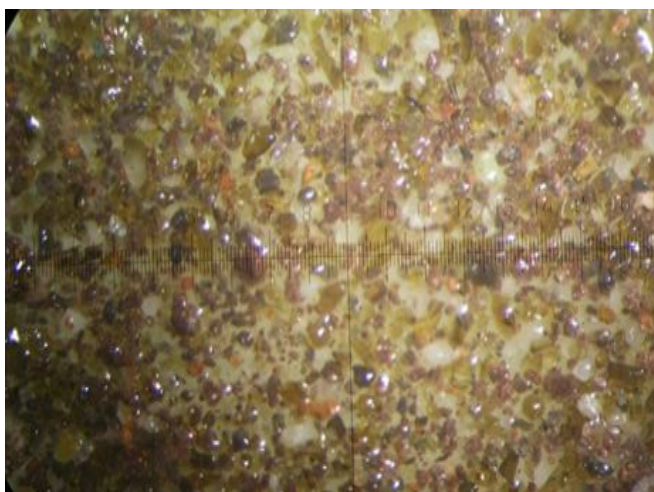


Рис. 1. Отход дробления сырья

Цена деления шкалы 0,05 мм

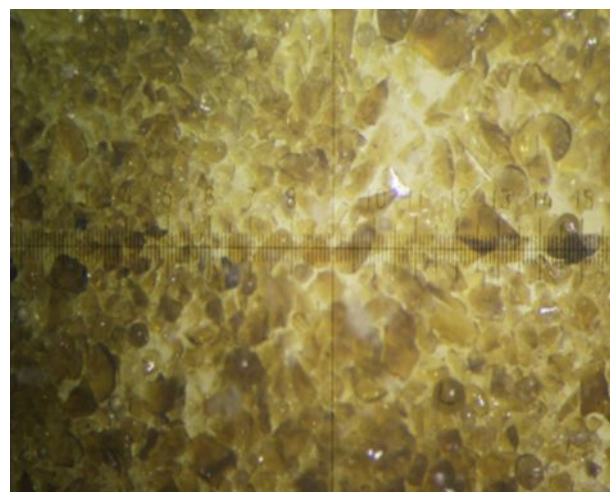


Рис. 2. Отход базальтового расплава

Цена деления шкалы 0,05 мм

В качестве связующего вещества был выбран глина месторождения Ивановское I, которое находится в 0,6 км к востоку от с. Ивановка, с северной стороны автодорожки Бишкек-Балыкчы, в Чуйском районе. Гранулометрический состав глинистого сырья месторождения Ивановское I представлено в таблице 1:

Таблица 1 - Гранулометрический состав глины

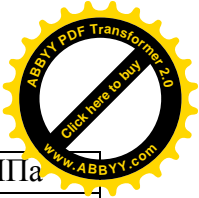
Размер фракции в мм	0,001<	0,001-0,05	0,005-0,05	0,05-1,0	Сумма
Содержание фракции в %	3,22	26,14	47,9	20,76	98,02

Экспериментальная часть. Исследование возможности использования базальтовых отходов на керамических матрицах проводилось с использованием экспериментально-статистического моделирования [9]. На рабочем этапе был реализован четырехфакторный эксперимент по плану V_4 (табл. 2). Варьировались следующие рецептурно-технологические факторы: X_1 – отход базальтового расплава (фракция меньше 0,315 мм), %; X_2 – отход при дроблении сырья (фракция меньше 0,315 мм), %; X_3 – температура обжига, °С; X_4 – время обжига (мин); остальное – глина. Уровни изменения фактора X_1 – (0,10,20%), X_2 – (0,15,30%), X_3 – (850,900,950°С), X_4 (30,45,60 мин).

Выходными параметрами на начальном этапе исследований служили: Y_1 – (ρ) плотность, кг/м³; Y_2 – (W,%) водопоглощение; Y_3 – ($L_{общ.}$) общая усадка, %; Y_4 – ($R_{сж.}$) прочность на сжатие, МПа.

Таблица 2 – Данные эксперимента по плану V_4

Нормализованные	Натуральные переменные	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
-----------------	------------------------	-------	-------	-------	-------



№	x_1	x_2	x_3	x_4	X_1	X_2	X_3	X_4	$\rho, \text{кг/м}^3$	$W, \%$	$L, \%$	$R_{\text{сж}}, \text{МПа}$
1	+	+	+	+	20	30	950	60	1650	20,9	9,7	4,41
2	+	+	+	-	20	30	950	30	1622	23,6	9,6	4,41
3	+	+	-	+	20	30	850	60	1608	22,7	15,4	4,17
4	+	+	-	-	20	30	850	30	1592	24,45	9,3	3,19
5	+	-	+	+	20	0	950	60	1680	19,1	6,4	11,03
6	+	-	+	-	20	0	950	30	1691	18,1	12,6	20,83
7	+	-	-	+	20	0	850	60	1679	20,7	9,6	16,91
8	+	-	-	-	20	0	850	30	1717	18,7	14,0	18,50
9	-	+	+	+	0	30	950	60	1573	23,1	14,1	6,62
10	-	+	+	-	0	30	950	30	1606	24,9	16,4	7,60
11	-	+	-	+	0	30	850	60	1641	23,7	10,5	7,60
12	-	+	-	-	0	30	850	30	1569	24,6	14,3	6,37
13	-	-	+	+	0	0	950	60	1606	22,9	15,9	12,50
14	-	-	+	-	0	0	950	30	1611	22,3	20,7	9,56
15	-	-	-	+	0	0	850	60	1680	20,3	10,3	14,46
16	-	-	-	-	0	0	850	30	1643	21,6	14,6	15,93
17	+	0	0	0	20	15	900	45	1653	21,4	18,1	8,09
18	-	0	0	0	0	15	900	45	1668	21,9	15,3	7,60
19	0	+	0	0	10	30	900	45	1648	22,3	15,7	3,43
20	0	-	0	0	10	0	900	45	1653	21,1	17,4	9,31
21	0	0	+	0	10	15	950	45	1644	21,1	16,9	6,62
22	0	0	-	0	10	15	850	45	1659	19,3	17,5	6,86
23	0	0	0	+	10	15	900	60	1673	20,6	17,7	7,11
24	0	0	0	-	10	15	900	30	1631	21,5	15,7	6,37

Методом наименьших квадратов были рассчитаны коэффициенты регрессии четырех выходных значений (Y_1, Y_2, Y_3 и Y_4) и получены математические модели второго порядка, далее по ним построены их графические образы в виде номограмм.

$$(Y_1) = 1660 + 16,28x_1 + 0,42x_1^2 - 9,0x_1x_2 + 11,63x_1x_3 - 4,75x_1x_4 - 24,89x_2 - 9,08x_2^2 - 10,86x_2x_3 - 6,23x_2x_4 - 5,78x_3 - 0,08x_3^2 - 6,63x_3x_4 + 5,83x_4 - 7,58x_4^2 \quad (1)$$

По модели (1) показатель плотности керамического композита увеличивается при наличии фактора x_1 и x_4 . Линейный эффект в модели (1) составляет ($b_1=16,28$) и ($b_4=5,83$), т.е. увеличение количества отхода базальтового расплава и времени обжига композиционного материала приводит к увеличению его плотности. А факторы x_2 – отход при дроблении сырья и x_3 – температура обжига ($^{\circ}\text{C}$) наоборот снижают плотность. При этом ($b_2=-24,89$) и ($b_3=-5,78$).

По квадратичным эффектам можно судить о наличии оптимума для факторов x_2, x_3 и x_4 . ($b_2=-9,08$), ($b_3=-0,08$) и ($b_4=-7,58$).

$$(Y_2) = 20,88 - 0,84x_1 + 0,77x_1^2 + 0,36x_1x_2 - 0,47x_1x_3 + 0,13x_1x_4 + 1,47x_2 + 0,82x_2^2 - 0,26x_2x_3 - 0,58x_2x_4 - 0,02x_3 - 0,68x_3^2 - 0,08x_3x_4 - 0,34x_4 + 0,17x_4^2 \quad (2)$$

Водопоглощение керамического композита несколько снижается при увеличении количества отхода базальтового расплава, времени и температуры обжига ($b_1=-0,84$), ($b_2=-0,02$) и ($b_4=-0,34$).

$$(Y_3) = 18,2 - 1,5x_1 - 1,5x_1^2 + 0,5x_1x_2 - 1,7x_1x_3 + 0,7x_1x_4 - 0,4x_2 - 1,6x_2^2 - 0,4x_2x_3 + 1,2x_2x_4 + 0,4x_3 - 0,9x_3^2 - 0,4x_3x_4 - 1,0x_4 - 1,4x_4^2 \quad (3)$$

Общая усадка керамического композита несколько снижается с увеличением количества отхода базальтового расплава и соответственно с увеличением времени и

возрастанием температуры обжига ($b_1 = -1,5$), ($b_3 = 0,4$) и ($b_4 = -1,0$).

$$(Y_4) = 6,62 - 1,5x_1 + 3,37x_1^2 - 1,68x_1x_2 - 0,76x_1x_4 + 0,85x_2x_3 + 0,68x_2x_4 - 0,44x_3x_4 \quad (4)$$

Прочность материала зависит от коэффициентов взаимодействия при x_1x_2 , x_1x_4 и x_3x_4 . Причем наибольшее значение оказывает эффект взаимодействия между первым x_1 вторым фактором x_2 , если выбирается максимальный уровень ($x_1 = +1$) отхода базальтового расплава (фракция менее 0,315 мм), то значение второго фактора – отход при дроблении сырья (фракция менее 0,315 мм) должен быть минимальным ($x_2 = -1$), то есть максимальное наполнение шихты двумя видами отхода приводит к снижению прочности. Необходимо выбирать оптимальный уровень содержания отходов для достижения повышенной прочности черепка. Отрицательный знак «-» при эффекте взаимодействия факторов x_3x_4 указывает на то, что повышение температуры должно ограничиваться минимальным временем обжига. И, наоборот, при минимальной температуре время обжига должно быть максимальным. Таким образом, одновременное увеличение температуры и времени обжига может привести к некоторому сбросу прочности.

Анализ девяти графических образов моделей (4) показал, что при изменении параметров обжига керамического материала существенных колебаний прочности не наблюдается (рис. 3). Видно, что при наличии 30% отхода дробления сырья и отхода базальтового расплава – 20% прочность минимальна и составляет $R_{сж} \leq 4$ МПа. Наличие отхода базальтового расплава сказывается на повышении прочности керамического черепка до 16-18 МПа. Сравнивая результаты испытаний образцов обожженных при разных уровнях ($x_4 = -1; 0; +1$) можно отметить, что повышение времени обжига не вызывает существенных изменений показателя прочности керамического материала. Увеличение добавки отхода дробления сырья до 30% негативно сказывается на прочностных характеристиках и снижает этот показатель от 16 до 4 МПа, то есть в 4 раза.

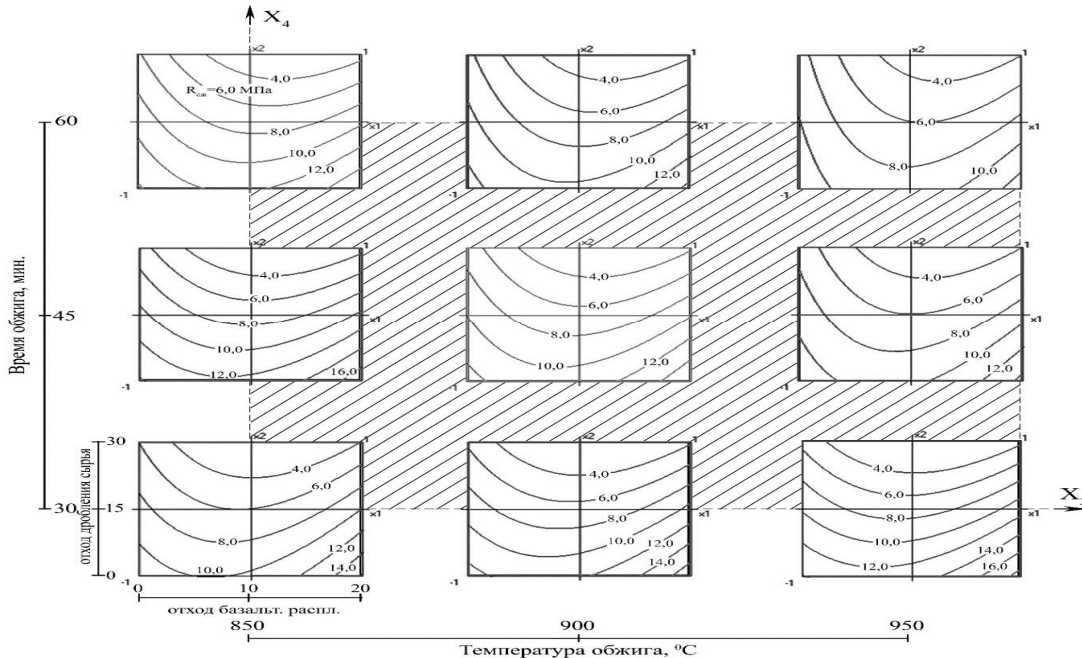
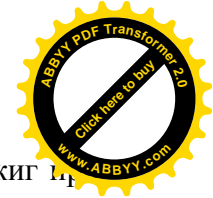


Рис. 3. Изолинии прочности керамического материала ($R_{сж}$) $Y_4 = f\{x_1, x_2\}$ в девяти точках факторного пространства $\{x_3, x_4\}$ (заштрихованное поле)

Отходы дробления базальтового сырья в оптимальном количестве следует использовать в керамических массах для обеспечения требуемой прочности. Максимальная прочность керамического черепка $R_{сж} \geq 18$ МПа находится в точке с координатами ($x_1 = +1; x_2 = -1; x_3 = +1; x_4 = -1$). Здесь в составе керамического материала



присутствует только отход базальтового расплава фракций менее 0,315 мм, а обжиг при максимальной температуре 950°C и минимальной выдержке 30 минут.

Выводы:

1. Методом экспериментально-статистического моделирования оптимизированы физико-механические характеристики керамического композита на основе отходов производства базальтовых волокон в интервале температур 850 – 950 °С.
2. На основании полученных экспериментальных данных установлено, что для обеспечения требуемой прочности материала следует оптимальном количестве использовать отход дробления сырья.
3. Сравнивая все физико-механические характеристики (ρ) плотность, (W) водопоглощение, ($L_{\text{общ}}$) общую усадку, ($R_{\text{сж}}$) прочность на сжатие, МПа можно отметить, что введение в шихту отхода базальтового расплава фракций менее 0,315 мм позволяет получить достаточно прочный керамический материал.

Список литературы

1. Карпинос Д.М. Композиционные материалы. Справочник [Текст] / Под ред. Д.М. Карпиноса. – Киев.: Наукова думка, 1985. – 592 с.
2. Салахов А. М. Современные керамические материалы [Текст] / А.М. Салахов. – Казань: КФУ, 2016. – 407 с.
3. Оптимизация состава шихты для производства строительной керамики с использованием гальванического шлама и стекольного боя [Текст] / А.А. Воробьева, И.А. Виткалова, А.С. Торлова и др. // Бутлеровские сообщения. – 2016. – №8. – С. 93-98.
4. Влияние содержания железа на процесс спекания измельченного базальта с целью получения керамики [Текст] / Н.Ф. Дробот, О.А. Носкова, А.В. Хорошилов и др. // Неорганические материалы. – 2014. – Т.50. – №3. – С. 339-344.
5. Вдовина Е.В. Фазовые превращения при обжиге керамических композиционных материалов на основе бейделлитовой глины и отходов производства минеральной ваты [Текст] / Е.В. Вдовина, Е.С. Абдрахимова // Известия ВУЗов. Строительство. – 2007. – №11. – С. 59-65.
6. Васильев С.В. Исследование свойств полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена и отходов производства базальтового волокна [Текст] / С.В. Васильев, О.В. Гоголева // Наука и образование. – 2016. – №3 – С. 63-67.
7. Айдаралиев Ж.К. Исследование отходов производства базальтовых волокон [Текст] / Ж. К. Айдаралиев, А. Т. Кайназаров, М.С. Абдиев // Научный и информационный журнал Материаловедение. ИФТПиМ НАН КР. – Бишкек: 2014. – №1. – С. 3-7.
8. Определение фракционного состава отходов сырья базальтового производства для получения композиционных материалов [Текст] / А.А. Абдыкалыков, Ж.К. Айдаралиев, А.Т. Кайназаров, М.С. Абдиев // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова. – Бишкек, 2019. – №3. – С. 137-143.
9. Современные методы оптимизации композиционных материалов [Текст] / В.А. Вознесенский, В.Н. Выровой, В.Я. Керш и др.]– Киев: Будивельник, 1983. – 144 с.