

УДК 677.523

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/87/25>

КОМПОЗИТЫ С КЕРАМИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ, АРМИРОВАННЫЕ НЕОРГАНИЧЕСКИМ И ОРГАНИЧЕСКИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

©Салиева М. Г., ORCID: 0000-0002-4572-5772, SPIN-код: 1493-7058, Ошский технологический университет, г. Ош, Кыргызстан, salieval.minavar@bk.ru.

©Ташполотов Ы., ORCID: 0000-0001-9293-7885, SPIN-код: 2425-6716, д-р физ.-мат. наук, Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан, itashpolotov@mail.ru

COMPOSITES WITH CERAMIC MATRIX REINFORCED WITH INORGANIC AND ORGANIC FILLERS

©Salieva M., ORCID: 0000-0002-4572-5772, SPIN-code:1493-7058, Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan, salieval.minavar@bk.ru

©Tashpolotov Y., ORCID:0000-0001-9293-7885, SPIN-code:2425-6716, Dr. habil., Osh State University, Osh, Kyrgyzstan, itashpolotov@mail.ru

Аннотация. Предметом данной статьи является разработка композиционных материалов с использованием керамических матриц (КМ) для повышения их прочности и уменьшения плотности и хрупкости керамики. Целью настоящей работы является выявление влияния содержания, размеров и формы вводимых наполнителей на структуру КМ, которая определяет поведение КМ. Рассмотрены методы и материалы исследования, анализ литературных источников, а также результаты полученных данных. Для разработки композитных материалов были использованы суглинки Тюлейкенского месторождения (юг Кыргызстана) с добавлением тонкоизмельченного базальтового порошка с органическим гуматом, а также волокон базальта. При добавлении 3–10% порошка базальта в состав глиняной массы огневые усадки снижаются незначительно. В этом пределе добавок наиболее эффективно сказывается минерализующее воздействие химических элементов базальтового порошка и гумата на черепкообразование. При дальнейшем повышении количества добавок до 15% идет незначительное линейное термическое расширение образцов, которое вызвано фазовым составом черепка. Оптимальная температура обжига сырьевых шихт с содержанием 3–15% добавки составляют 950–1050°C, в пределах которых протекают основные процессы структурообразования. По результатам эксперимента максимальная прочность образцов при 1000°C составила 15,8–18,8 МПа при добавлении 5% примесей, а при увеличении базальтового порошка и волокна до 15% прочность составила 16,3 МПа. На основании полученных результатов можно использовать базальтовый порошок и базальтовое волокно с добавкой гумата в качестве основного компонента при производстве композиционных керамических изделий.

Abstract. The subject of this article is the development of composite materials using ceramic matrices (CM) to increase their strength and reduce the density and brittleness of ceramics. The purpose of this work is to reveal the effect of the content, size, and shape of the introduced fillers on the CM structure, which determines the behavior of CMs. The methods and materials of the study, the analysis of literary sources, as well as the results of the obtained data are considered. For the development of composite materials, we used the loams of the Tyuleikenskoye deposit of the Southern Kyrgyzstan and finely ground basalt powder with organic humate. In addition, we added basalt fibers as an additive. When adding 3-10% of basalt powder to the composition of the clay mass, fire shrinkage decreases slightly. In this limit of additives, the mineralizing effect of the chemical elements of basalt powder and humate on the formation of shards is most effective. With a further

increase for additives to 15%, there is an insignificant linear thermal expansion of the samples, which is caused by the phase composition of the shard. At the same time, the optimal firing temperature of raw materials with a content of 3-15% of its additive is 950-1050 °C, within which the main processes of structure formation take place. According to the results of the experiment, the maximum strength of the samples at 1000°C was 15.8-18.8 MPa with the addition of 5% additive, and with an increase in basalt powder and fiber to 15%, the strength was 16.3 MPa. Based on the results obtained, it is possible to use basalt powder and basalt fiber with the addition of humate as the main component in the production of composite ceramic products.

Ключевые слова: композиты с керамической матрицей, базальтовые волокна, бентонитовая глина, гумат, волокнистая структура, прочность керамического материала.

Keywords: ceramic matrix composites, basalt fibers, bentonite clay, humate, fibrous structure, strength of ceramic material.

В последние годы с внедрением композитных материалов (КМ) в различные отрасли народного хозяйства в материаловедении разработаны новые технологии для создания многофункциональных КМ, адаптированных к критическим условиям эксплуатации. Известно, что необходимые эксплуатационные технические свойства КМ зависят от физико-механических факторов матрицы и наполнителя. Поэтому разработка научно-теоретических основ формирования структуры композиционных керамических материалов с применением органических и неорганических веществ наполнителей является актуальной научной задачей.

Т. Фудзии и М. Дзако [1] в своих книгах написали о появлении композиционных материалов, рассматривали типы композитов и их механические разрушения. Виды композита зависят от наполнителя: композиты с дисперсными частицами и волокнистые композиты. Рассмотрено строение и типы композитов, схематическое представление композита, армированное волокном.

Для повышения прочности и пластичности КМ в качестве наполнителя используют вещества различной формы и природы: волокнообразные, порошкообразные и другие наполнители из неорганических и органических веществ. Поэтому целью настоящей работы является выявление влияния содержания, размеров и формы вводимых наполнителей на структуру КМ, которая определяет поведения КМ с керамической матрицей.

В волокнистых композиционных материалах армирующими наполнителями служат волокна или нитевидные кристаллы из чистых элементов и тугоплавких соединений (В, С, Al₂O₃, SiC и др.), а также проволока из металлов и сплавов (Мо, W, Ве, высокопрочная сталь и др.). Для армирования композиционных материалов используют непрерывные или дисперсные волокна с диаметром от долей до сотен микрометров [2].

Горные породы широко используются в строительстве. Они обладают высокими техническими показателями: долговечностью, прочностью, морозостойкостью и др. Немаловажной характеристикой базальтового волокна является его прекрасная совместимость со всевозможными матричными материалами: полимерными, керамическими, металлическими, цементными, углеродными — и различными волокнами для получения гибридных композиционных материалов. Для изготовления базальтных композитов применимы практически все известные методы: намотка, пултрузия, формование, напыление, литье и прессование [3].

Базальтовое волокно обладает высокой прочностью, долговечностью и стойкостью к агрессивным средам. Характеристики по прочности, химической и термической стойкости,

низкой гигроскопичности, высокие эксплуатационные характеристики базальтового волокна позволяют широко применять для производства композиционных материалов и изделий.

Материалы и методы

Для получения керамических композитных материалов и изделий нами было исследованы физико-химические, спектральные, гранулометрические анализы, а также водородный показатель pH растворов и радиоактивная безопасность сырьевых ресурсов месторождений Южного региона Кыргызстана [4-6].

Показано, что в качестве основного критерия, для оценивания влияния наполнителей на физико-механические свойства керамического композита, нами использованы прочность при сжатии КМ, водопоглощаемость и плотность композита. Рассмотрим структуры керамокомпозитных волокнистых материалов, основываясь на модели структуры изделия, изображенной на Рисунке 1.

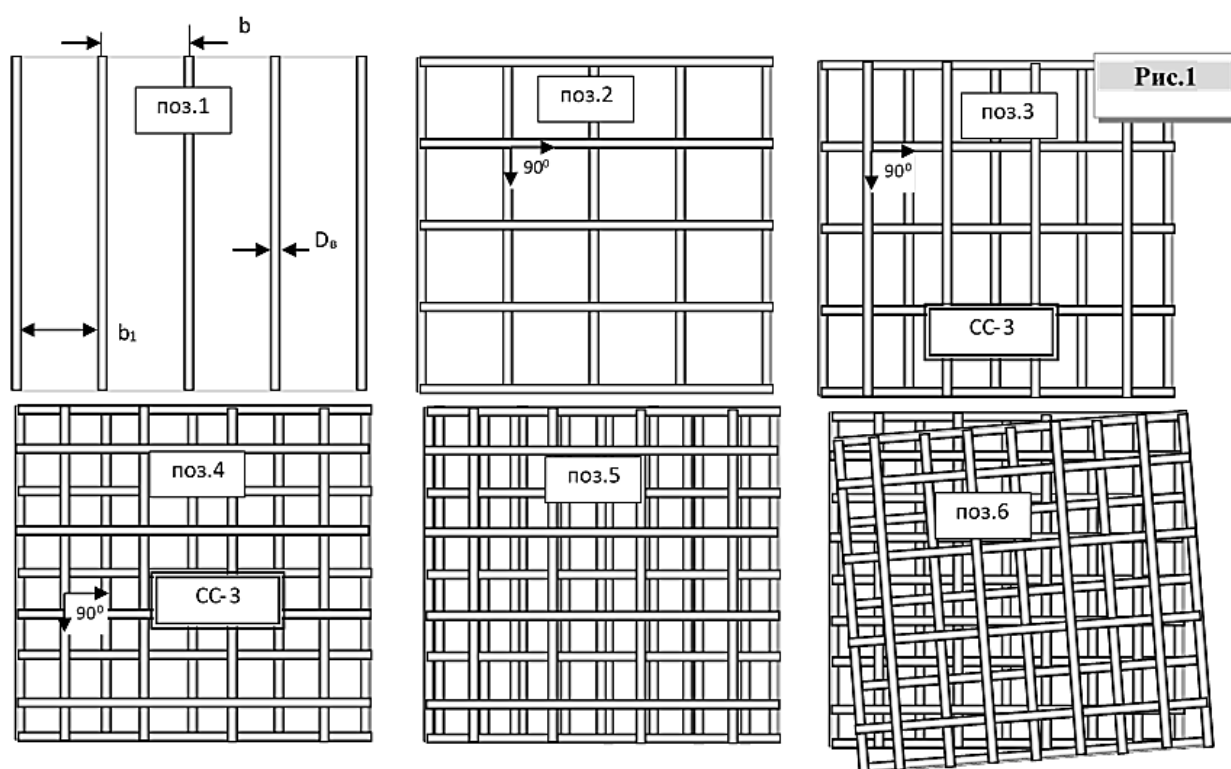


Рисунок 1. Структуры керамокомпозитных волокнистых материалов

В работе на основе экспериментальных результатов исследований различных структур волокнистых материалов предполагались следующие сценарии образования структуры сформировавшегося слоя (СС):

Из Рисунка 1, видно, что волокна наполнителя укладываются параллельно друг к другу и на расстоянии b (Рисунок 1 поз. 1). Волокна второго слоя укладываются параллельно друг к другу и под углом 90° (поз. 2) — это позиция наименьшего взаимного влияния волокон первого и второго слоя. Волокна третьего слоя должны соответственно укладываться параллельно и под углом 90° , с наименьшим взаимным влиянием к волокнам первого и второго слоя. При этом в случае идеального расположения они должны делить ячейку (клетку) пополам (поз. 3).

Таким образом, три единичных слоя, с параллельно расположенными волокнами образуют первый сформировавшийся слой, (СС-3). В дальнейшем волокна следующего четвертого единичного слоя укладываются в положении с наименьшим взаимным влиянием с

волокнами второго и третьего слоя. Далее, четыре слоя, параллельно расположенных волокон образуют второй сформировавшийся слой (СС-4) (Рисунок 1, поз. 4.).

Следующий (второй, третий и т. д.) сформировавшийся слой (СС) волокон может располагаться с любым возможным смещением по отношению к предыдущему слою, Рисунок 1, позиция 4 и позиция 5, и повторяет структуру предыдущих рассмотренных слоев.

Если принять, что при укладке волокон соблюдается среднестатистическое условие $b \sim 9D_b$ (D_b – диаметр волокна), то начальный неразделенный максимальный размер пор равен $b_1 = 8D$, то получим для первого слоя СС-4 размер поры b_1 , для второго слоя $d_{пор} \sim 0,66b_1$, для третьего и четвертого слоя $d_{пор} \sim 0,43b_1$. И тогда среднеарифметическое значение размера пор четырех слоев будет равно: $d_{cp} \sim (b_1 + 0,66b_1 + 0,43b_1 + 0,43b_1) : 4 \sim 0,63 - 0,64b_1$.

Это и есть геометрическое значение среднего размера пор для непрессованного волокнистого материала. Если прессовать материал, то у нас будут изменяться поры в каждом единичном слое и соответственно изменится размер средней поры. На основе экспериментальных результатов установлено, что взаимосвязи текущей толщины и соответствующего среднего размера пор (d_{cp}), для разных структур волокнистых материалов:

$$d_{cp} = (0,77 k_T - 0,13) b_1, \quad (1)$$

где: $k_T = T_{тек} / T_0$ (текущая толщина к исходной толщине), при $k_T = 1$ (непрессованный материал) $d_{cp} \sim 0,64b_1$.

Определим плотности упаковки волокон. Начальная плотность упаковки цилиндрических волокон при данном построении, рис. 1, должна быть равна:

$$\beta = \frac{V_{гол}}{V_{общ}} = \frac{\pi D_e^2 L^2}{4L^2 D_e b} = \frac{\pi D_e}{4b} \quad (2)$$

Таблица 1

КОЛИЧЕСТВО ЕДИНИЧНЫХ И СФОРМИРОВАВШИХСЯ СЛОЕВ

Количество слоев	Уравнение для определения
Общее (элементарных)	$N_{об} = T \div D_e$
СС-3 (сформировавшихся)	$N_{cc-3} = T \div 3D_e$
СС-4 (сформировавшихся)	$N_{cc-4} = T \div 4D_e$

Здесь $N_{об}$ – общее количество единичных слоев волокон в материале

Также использованы для улучшения качества глинистого сырья, как пластификатор, «гумат». Ж. Арзиев исследовал ценность природно-окисленных углей для получения углегуминовых удобрений, стимуляторов роста растений [7]. Автором исследовано месторождения запасов окисленных бурых углей Кыргызстана, и их использования в технологии производства строительных материалов. При проведении вскрышных работ наверх поднимаются бентонито-каолиноподобные глины. Приведены пластифицирующие свойства гуматов и бентонитоподобных глин. На основе такого построения структуры волокон созданы керамические материалы, матрица которой является суглинки Тюлейкенского месторождения Южного Региона Кыргызстана.

Пробы суглинка сушили в естественных условиях в лаборатории, пропускали через сито (№2,5; 2; 1; 0,5; 0,1) остатки в сите измельчали и пропускали повторно (Рисунок 2). Затем добавили базальтовое волокно, из подготовленной массы формовали образцы кубиков (70×70×70 мм), цилиндры (50×50 мм) и балки (160×40×40 мм). Образцы сушили в лаборатории на стеллажах в течение 3 суток при комнатной температуре, потом сушили в сушильном шкафу

при температуре 100°C – 4 часа. Обжиг производили в муфельной печи при температуре 900, 950, 1000°C . Для получения образцов с добавкой базальтового порошка мы пропускали базальт до тонкого измельчения в электрической дробильной машине в лаборатории кирпичного завода ОсОО «Ак-Таш». После этого полученные порошки пропускали через сито (Рисунок 3).



Рисунок 2. Пропускание суглинка через сито



Рисунок 3. Пропускание через сито базальтового порошка

Пробы суглинка и порошка базальта подвергали механической активации в лабораторной шаровой мельнице в течение 1 часа и пропускали через сито. Затем увлажняли до формовочной влажности. Из подготовленной массы формовали образцы и сушили в естественных условиях, а потом сушили в сушильном шкафу при температуре 100°C .

При увеличении количества добавки до 15% идет равномерное снижение воздушной усадки, так как базальт, будучи твердым материалом, не обладает пластическими свойствами, как пластификатор, мы добавили «гумат» в процентном содержании. Причем следует отметить, что при увеличении количества добавки порошка свыше 10% без добавки гумата консолидационная способность шихты на основе суглинка снижается.

При добавлении 3–10% порошка базальта в состав глиняной массы огневые усадки снижаются незначительно. В этом пределе добавок наиболее эффективно сказывается минерализующее воздействие химических элементов базальтового порошка и гумата на черепкообразование. При дальнейшем повышении количества добавок до 15% идет незначительное линейное термическое расширение образцов, которое вызвано фазовым составом черепка. В дальнейшем сырьевая прочность снижается, так как снижается консолидационная способность сырьевой шихты, но до 15% формуемость массы удовлетворительная. При увеличении количества добавок свыше 15% в составе глиномассы снижается количество глинистого компонента, консолидация формовочной массы и, соответственно, сырьевая прочность изделий.



Рисунок 4. Образцы после сушки в сушильном шкафу

После сушки обжиг производился в лабораторной муфельной печи при температуре $t=900, 950, 1000^{\circ}\text{C}$ с выдержкой при указанных температурах в следующей последовательности:

1. подъем температуры до 200°C — 1,5 часа;
2. подъем температуры до 200°C до 400°C — 1,5 часа;
3. выдержка при температуре 400°C — 0,5 часа;
4. подъем температуры от 400°C до 800°C — 1,5 часа;
5. выдержка при температуре 800°C — 0,5 часа;
6. подъем температуры от 800°C до 900°C (950°C , 1000°C) — 2 часа;
7. выдержка при конечной температуре — 5 часа;
8. постепенное охлаждение до 60°C — 16 часов.

Результаты и обсуждение

В процессе обжига происходят сложные физико-химические процессы, которые характеризуются в химических и структурных превращениях композитных добавок, образовании кристаллических и стекловидных фаз. Значительное содержание плавней в составе базальтовой породы (FeO — 1,92; Fe₂O₃ — 12,35; TiO₂ — 1,86) способствует интенсификации процесса клинкерообразования как на стадии протекания твердофазовых реакций, так и с участием жидкой фазы [8]. Исходя из этого, использование базальтовой породы с повышенным содержанием оксидов железа, титана, магния и щелочей в сырьевых смесях, с высоким коэффициентом насыщения и низкореакционным карбонатным компонентом способствует завершению клинкерообразования в области более низких температур. Полученные образцы подвергались к испытанию на прочность и водопоглощению, полученные данные представлены в Таблицах 2, 3.

Таблица 2

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ ИЗ ШИХТ, СОДЕРЖАЩИХ БАЗАЛЬТОВОЕ ВОЛОКНО И СУГЛИНОК МЕСТОРОЖДЕНИЕ ТЮЛЕЙКЕН

Базальт. волокно	Сугли-нок	Температура обжига								
		t=900 °C			t=950 °C			t=1000 °C		
%		B, %	рср, кг/м ³	Рсж, МПа	B, %	рср, кг/м ³	Рсж, МПа	B, %	рср, кг/м ³	Рсж, МПа
0	100	27,08	1956	7,41	22,68	1972	8,89	20,41	1758	9,39
3	97	24,74	1678	8,23	23,30	1640	9,72	22	1591	11,82
5	95	25,71	1732	13,98	21,21	1649	15,75	17,65	1732	17,83
10	90	22,63	1577	10,70	20,41	1608	15,18	20,20	1553	17,47
15	85	20,93	1628	10,78	18,60	1595	13,54	18,18	1560	16,29

Таблица 3

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ ИЗ ШИХТ, СОДЕРЖАЩИХ БАЗАЛЬТОВОЕ ПОРОШОК, ОРГАНИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ ГУМАТ И СУГЛИНОК МЕСТОРОЖДЕНИЕ ТЮЛЕЙКЕН

Базальт пор.	Жид. гумат	Суглинок	Температура обжига								
			t=900 °C			t=950 °C			t=1000 °C		
%			B, %	рср, кг/м ³	Рсж, МПа	B, %	рср, кг/м ³	Рсж, МПа	B, %	рср, кг/м ³	Рсж, МПа
0	0	100	27,08	1956	7,41	22,68	1872	8,89	20,41	1848	9,39
3	10	97	25,71	1904	9,63	22,86	1768	12,27	17,14	1714	13,28
5	15	95	24,70	1790	14,26	23,58	1722	17,41	21,21	1670	18,79
10	20	90	26,47	1745	12,34	23,53	1690	14,20	19,44	1644	16,68

Как видно из данных Таблиц 2 и 3 долговечность керамического изделия увеличилась при добавлении базальтового волокна и порошка. А. Ю. Столбоушкин установлено, что при обжиге дисперсионная среда будет продуцировать жидкую фазу, которая внедрится в периферийную зону дисперсной фазы и после кристаллизации должна образовать прочную матричную структуру [9]. Поэтому структура наполненного связующего, содержащего стеклофазу, образующего пространственную ячеистую основу керамического матричного композита, в свою очередь, имеет внутреннее «армирование» (Рисунок 5).

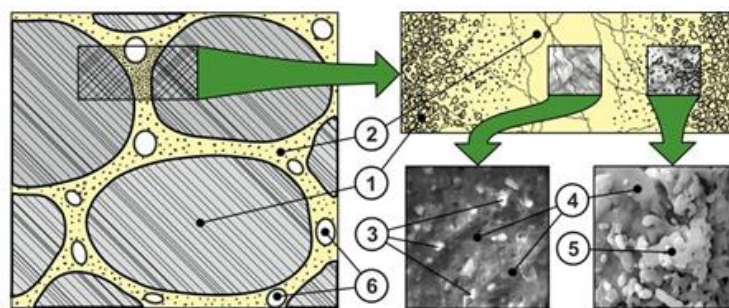


Рисунок 5. Схема формирования структуры керамического матричного композита из техногенного сырья: 1 – наполнитель (гранулированные отходы); 2 – матрица из глины (наполненное связующее после обжига); 3 – наполнитель матрицы (высокотемпературные минералы); 4 – пиропластичное вяжущее; 5 – граничный слой композита; 6- поры

Базальтовое волокно при добавлении в сырье выполняет роль армирующего элемента, соединяет их между собой и обеспечивает высокую прочность керамического изделия. В результате добавления в глину гуммата и базальтового порошка повысилась прочность керамического изделия. Также прочность увеличивалась при повышении температуры обжига. На основе полученных экспериментальных данных, приведенных в Таблицах 2 и 3, построены следующие кривые зависимости (Рисунок 6 а, б):

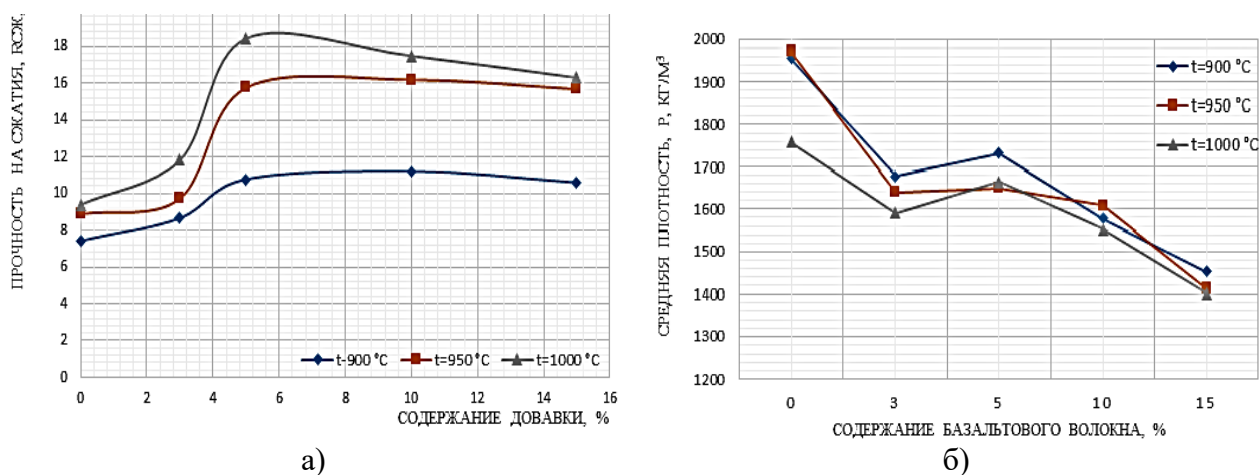


Рисунок 6. Влияние содержания добавки базальтового волокна на прочность (а) и плотность (б) образцов керамики при обжиге разных температур

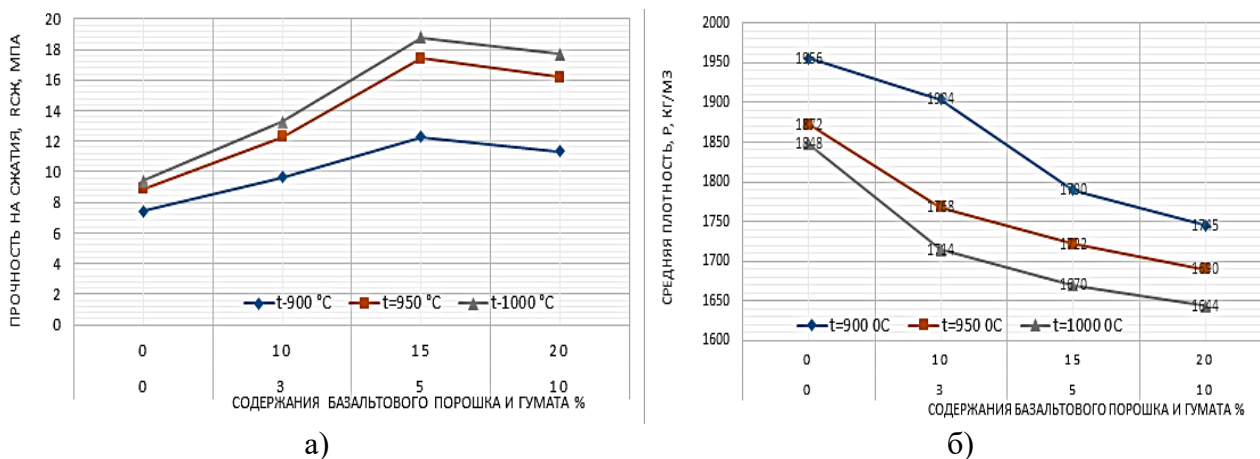


Рисунок 7. Влияние содержания базальтового порошка и гуммата на прочность (а) и плотность (б) образцов керамики при обжиге разных температур

Из кривых зависимостей видно, при повышении температуры до 1000°С повышается прочность образцов на сжатие, снижается средняя плотность.

Таким образом, в качестве добавки в керамические шихты можно использовать тонкоизмельченный базальтовый порошок с гуматом, а также волокна базальта; при этом оптимальная температура обжига сырьевых шихт с содержанием его 3-15% добавки составляют 950-1000°С, в пределах которых протекают основные процессы структурообразования. Максимальная прочность образцов из указанных добавок при содержании 5%, составляет 15,8–18,8 МПа при 1000 °С, а при повышении порошка базальта и волокна до 15% прочность составляет 16,3 МПа, что говорит о возможности использования базальтового порошка вместе с гуматом и базальтового волокна как основного компонента в производстве керамических материалов и изделий.

Выводы

1. Установлено влияние геометрических размеров наполнителя (цилиндрические и порошкообразные), их концентрации и формы на параметры структуры КМ, определяющие его физико-механические свойства. Показано, что выбранные свойства КМ на основе глиняной матрицы слабо зависят от природы и формы наполнителей, но существенно зависит от их концентрации. В работе большое внимание уделено исследованию взаимодействия на границе раздела «матрица-наполнитель», которое определяет основные свойства КМ.

2. Установлены закономерности формирования структуры и свойств композитов, модифицированных неорганическими (базальтовыми) и органическими (гумат) наполнителями микрометрического размера.

3. Выявлена зависимость прочности при сжатии КМ от концентрации наполнителей: увеличении прочности сжатия КМ при концентрации базальтовых волокон до 5% и снижении прочности при сжатии с концентрацией наполнителей свыше 10%. Введении в матрицу 5% базальтового порошка и 15% гумата приводит к такому же результату.

Список литературы:

1. Фудзии Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов. М.: Мир, 1982. 113 с.
2. Негодяев Н. Д., Ельцов О. С., Матерн А. И. Основы технологии и применения конструкционных материалов. Екатеринбург, 2006. 115 с.
3. Оснос С. П., Рожков И. А. Вопросы производства и комплексного применения материалов на основе базальтовых непрерывных волокон в энергетике // Композитный мир. 2021. №1. С. 58-64.
4. Салиева М. Г. Исследование физико-химических составов сырьевых материалов южного региона Кыргызской Республики // Известия Ошского технологического университета. 2018. №3. С. 133-137.
5. Салиева М. Г. Исследования химического состава и РН среды водных растворов сырьевых ресурсов из месторождений южного региона Кыргызской Республики для керамического кирпича // Вестник Жалал-Абадского государственного университета. 2018. №4. С. 77-80.
6. Салиева М. Г., Ысманов Э. М. Исследования безопасности радиоактивного излучения сырьевых ресурсов из месторождений на Юге Кыргызской Республики // Известия Ошского технологического университета. 2018. №1. С. 95-99.
7. Арзиев Ж. Создание технологий по использованию попутно добываемых ресурсов угледобывающей промышленности Кыргызской Республики: Автореф. ... д-р техн. наук. Бишкек, 2013. 36 с.

8. Ассакунова Б. Т., Касымов Т. М. О возможности использования базальтовых пород в производстве цемента на курментинском цементном заводе // Вестник кыргызско-российского славянского университета. 2005. Т. 5. №7. С. 116-118.

9. Столбоушкин А. Ю. Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья: Автореф. ... д-р техн. наук. Томск, 2015. 43 с.

References:

1. Fudzii, T., & Dzako, M. (1982). *Mekhanika razrusheniya kompozitsionnykh materialov*. Moscow. (in Russian).

2. Negodyaev, N. D., El'tsov, O. S., & Matern, A. I. (2006). *Osnovy tekhnologii i primeneniya konstruktivnykh materialov*. Ekaterinburg. (in Russian).

3. Osnos, S. P., & Rozhkov, I. A. (2021). *Voprosy proizvodstva i kompleksnogo primeneniya materialov na osnove bazal'tovykh nepreryvnykh volokon v energetike. Kompozitnyi mir*, (1), 58-64. (in Russian).

4. Salieva, M. G. (2018). *Issledovanie fiziko-khimicheskikh sostavov syr'evykh materialov yuzhnogo regiona Kyrgyzskoi Respubliki. Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (3), 133-137. (in Russian).

5. Salieva, M. G. (2018). *Issledovaniya khimicheskogo sostava i RN srede vodnykh rastvorov syr'evykh resursov iz mestorozhdenii yuzhnogo regiona Kirgizskoi Respubliki dlya keramicheskogo kirpicha. Vestnik Zhalal-Abadskogo gosudarstvennogo universiteta*, (4), 77-80. (in Russian).

6. Salieva, M. G., & Ysmanov, E. M. (2018). *Issledovaniya bezopasnosti radioaktivnogo izlucheniya syr'evykh resursov iz mestorozhdenii na Yuge Kirgizskoi Respubliki. Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (1), 95-99. (in Russian).

7. Arziev, Zh. (2013). *Sozdanie tekhnologii po ispol'zovaniyu poputno dobyvaemykh resursov ugledobyvayushchei promyshlennosti Kirgizskoi Respubliki: Avtoref. ... d-r tekhn. nauk. Bishkek*. (in Russian).

8. Assakunova, B. T., & Kasymov, T. M. (2005). *O vozmozhnosti ispol'zovaniya bazal'tovykh porod v proizvodstve tsementa na kurmentinskom tsementnom zavode. Vestnik kyrgyzsko-rossiiskogo slavyanskogo universiteta*, 5(7), 116-118. (in Russian).

9. Stolboushkin, A. Yu. (2015). *Stenovye keramicheskie materialy matrichnoi struktury na osnove nespekayushchegosya maloplastichnogo tekhnogennogo i prirodnogo syr'ya: Avtoref. ... d-r tekhn. nauk. Tomsk*. (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 13.01.2023 г.*

*Принята к публикации
20.01.2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Салиева М. Г., Ташполотов Ы. Композиты с керамической матрицей, армированные неорганическим и органическим наполнителем // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9. №2. С. 209-218. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/87/25>

Cite as (APA):

Salieva, M., & Tashpolotov, Y. (2023). *Composites With Ceramic Matrix Reinforced With Inorganic and Organic Fillers. Bulletin of Science and Practice*, 9(2), 209-218. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/87/25>