

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

ТРУДЫ НГАСУ

Т. 20, № 2 (65)

НОВОСИБИРСК 2017

ТРУДЫ НГАСУ. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2017. – Т. 20, № 2 (65). – 160 с.

Редакционная коллегия

Главный редактор – д-р техн. наук, профессор, чл.-кор. РААСН
Ю.Л. Сколубович

Заместитель главного редактора – д-р физ.-мат. наук, профессор
В.Я. Рудяк

Заместители главного редактора по направлениям:

д-р техн. наук, профессор Л.В. Ильина,
д-р ист. наук, профессор Ю.И. Казанцев,
д-р техн. наук, профессор В.М. Митасов,
д-р физ.-мат. наук, профессор М.С. Соппа

Ученый секретарь: Е.Ю. Русских

Члены редколлегии:

д-р техн. наук, профессор В.В. Адищев,
д-р физ.-мат. наук, профессор С.М. Аульченко,
д-р физ.-мат. наук, профессор Ю.Е. Воскобойников,
д-р техн. наук, профессор Г.И. Гребенюк,
д-р техн. наук, профессор В.В. Дегтярёв,
д-р техн. наук, профессор В.Н. Зырянова,
д-р техн. наук, профессор Т.В. Федорович,
д-р техн. наук, профессор В.В. Молодин,
д-р физ.-мат. наук, профессор Ю.В. Немировский,
д-р ист. наук, доцент Л.К. Островский,
д-р архитектуры, профессор А.Г. Туманик

Бартеньева Е.А., Машкин Н.А. Влияние минеральных добавок на свойства неавтоклавного пенобетона	74
Столбоушкин А.Ю., Сыромясов В.А., Акст Д.В., Шевченко В.В., Бердов Г.И. Моделирование границы раздела сред в керамических материалах матричной структуры.....	81
Столбоушкин А.Ю., Акст Д.В., Фомина О.А., Сыромясов В.А. Изменение интенсивности окраски декоративных керамических материалов матричной структуры.....	92
Игнатова О.А., Макарова Н.В. Применение водостойкого гипсового вяжущего.....	103
Смирнова О.Е., Бобров Н.С. Применение риск-ориентированного подхода в производстве железобетонных изделий.....	109
Смирнова О.Е., Отточко С.Ю. Возможности изготовления теплоизоляционных материалов на основе органических отходов.....	120
Овчаренко Г.И., Бойков Д.В. Высокоподвижные бетонные смеси в современном строительстве.....	131
Овчаренко Г.И., Садрашева А.О., Викторов А.В. Контактно-конденсационные свойства гидратных фаз цементного камня.....	141

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Гудков А.А., Бухрякова А.В. Сравнительный анализ планировки и застройки городов Крита и материковой части Греции в период расцвета эгейской цивилизации.....	150
---	-----

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА СРЕД В КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ МАТРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ

А.Ю. Столбоушкин^{*}, В.А. Сыромясов^{}, Д.В. Акст^{***},
В.В. Шевченко^{****}, Г.И. Бердов^{*****}**

Обоснована необходимость разработки новых концептуальных подходов при постановке экспериментов для изучения фазового состава и физико-химических процессов, протекающих при обжиге керамических материалов матричной структуры на основе малопластичного неспекающегося техногенного и природного сырья. Представлены результаты исследований по определению условий получения макромодели переходного слоя между ядром и оболочкой керамических матричных композитов.

Ключевые слова: керамические композиты, матричная структура, граничный слой, ядро и оболочка, модельный образец, рентгенофазовый анализ.

Введение

Повышение конкурентоспособности и устойчивого развития национальной экономики невозможно без комплексного использования сырья и вовлечения в производство промышленных отходов [1]. Утилизация минеральных алюмосиликатных отходов в ресурсоемком производстве строительных материалов, как правило, требует нестандартных подходов и инновационных технологических решений [2–6].

^{*} Д-р техн. наук, профессор кафедры строительных технологий и материалов СибГИУ (г. Новокузнецк)

^{**} Аспирант кафедры строительных технологий и материалов СибГИУ (г. Новокузнецк)

^{***} Аспирант кафедры строительных технологий и материалов СибГИУ (г. Новокузнецк)

^{****} Аспирант кафедры строительных технологий и материалов СибГИУ (г. Новокузнецк)

^{*****} Д-р техн. наук, профессор НГАСУ (Сибстрин)

Авторами разработаны технологические принципы формирования структуры изделий на стадии массоподготовки и прессования сырца, позволяющие получать керамические материалы из промышленных отходов (рис. 1) с заданными физико-механическими характеристиками [7].

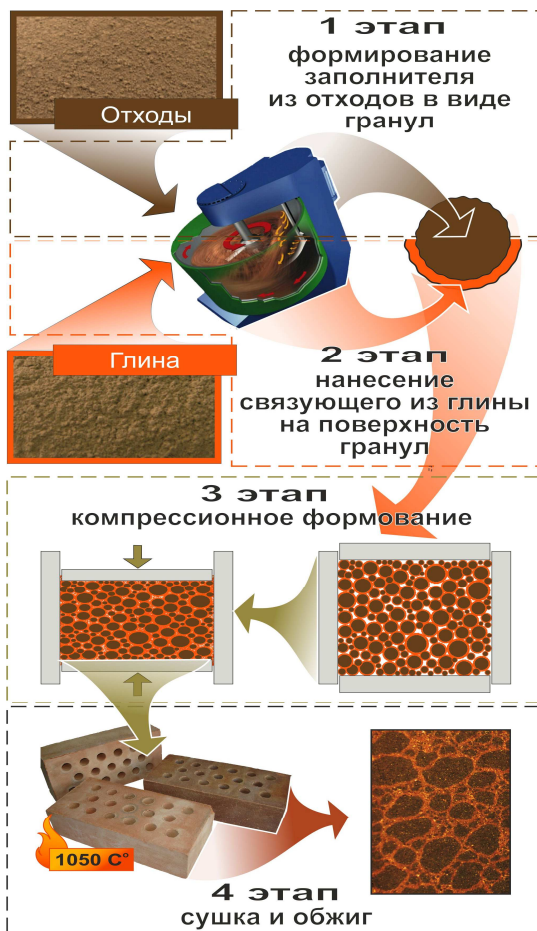


Рис. 1. Этапы получения керамических материалов матричной структуры

Реализация разработанного способа получения строительных керамических композиционных материалов матричной структуры позволяет использовать до 80 % отходов в составе шихты. При этом создание керамических композиционных материалов матричной структуры возможно за счет грануляции заполнителя из этих отходов с последующим опудриванием полученных гранул легкоплавкой глиной, прессования полученных порошков, сушки и обжига изделий. В результате формируется керамический матричный композит, в котором ядра заполнителя заключены в хорошо спеченный пространственно-организованный каркас-матрицу (рис. 1, этап 4).

Исследование процессов взаимодействия между ядром и матрицей при обжиге керамического композита позволит разработать рациональные составы шихт, обеспечивающие заданные характеристики изделий при максимальном содержании отходов. Однако изучение процессов фазообразования на границе раздела матрицы и заполнителя весьма проблематично ввиду малой толщины матрицы (20–50 мкм) [8].

Цель настоящего исследования состояла в разработке методики получения модельных образцов для изучения фазового состава керамических материалов матричной структуры.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели авторами разработана концепция получения многослойных керамических образцов (рис. 2), моделирующих границу раздела в виде переходных слоев с различным процентным соотношением техногенного и глинистого сырья в составе шихты. Такой подход обусловлен тем, что при формировании гранул из отходов с последующим «накатыванием» на их поверхность глинистой компоненты шихты в граничной зоне оба сырьевых материала частично перемешиваются. При этом распределение обоих компонентов на границе «отходы ↔ глина» интегрально изменяется в общей массе от 100 до 0 мас. % и наоборот. Дифференцируя этот плавный переход на несколько зон с фиксированным соотношением компонентов, можно приближенно смоделировать границу раз-

дела фаз (дисперсная фаза ↔ дисперсионная среда) в керамическом матричном композите [8].

Предварительно количество переходных слоев менялось от 1 до 5. Экспериментально было установлено, что один-два переходных слоя дают очень грубое приближение модели к реальным условиям границы раздела сред матричной структуры. При формировании образцов с пятью переходными слоями возникли технологические проблемы, связанные со сложностью изготовления образцов-цилиндров. Таким образом, оптимальным является формирование 3-х переходных слоев, а их общее количество в модельном образце составляет пять.

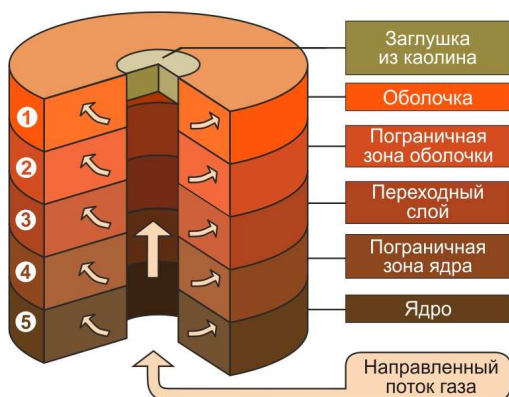


Рис. 2. Концептуальная схема формирования переходных слоев между оболочкой и ядром матричного композита:

- 1 – оболочка; 2 – переходная зона со стороны оболочки;
- 3 – центральная область переходной зоны;
- 4 – переходная зона со стороны ядра; 5 – ядро

Для приближения модели к реальным условиям граничного перехода между ядром и матрицей были проведены исследования по уменьшению толщины слоев до минимально возможных, позволяющих провести отбор проб материала для рентгенофазового анализа. Дополнительно для интенсификации процессов

теплообмена и взаимодействия между слоями авторами была предложена идея по организации принудительного воздухообмена во время обжига. Для этого была разработана пресс-форма, позволяющая формировать образцы-цилиндры с внутренним сквозным каналом.

При проведении лабораторных исследований в качестве техногенных сырьевых материалов были использованы шламистая часть отходов обогащения железных руд (ОЖР) Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики (г. Новокузнецк), отходы от добычи марганцевых руд (ОМР) Селезенского месторождения Кемеровской области. В качестве природного глинистого сырья использовался новокузнецкий суглинок и бердский суглинок (Новосибирская обл.).

Химический состав сырьевых материалов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Сырье	Массовая доля компонентов, % (на абсолютно сухое вещество)											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	R ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	п.п.п.
Шламистые железорудные отходы	32,7	8,99	5,70	13,5	14,3	10,8	–	0,6	1,15	0,24	1,45	10,3
Отходы добычи марганцевых руд	28,4	9,8	–	–	2,3		–	31,64	0,64	–	–	12,3
Новокузнецкий суглинок	62,0	14,71	5,07		4,56	2,49	0,93	0,21	3,94	–	0,47	5,59
Бердский суглинок	60,5	13,3	5,35		5,18	1,62	0,86	–	3,6	–	–	8,63

Железорудные отходы имеют полиминеральный состав, представленный полевыми шпатами, кварцем, слюдой, пироксеном, амфиболитами, хлоритами железистого типа с небольшим содержанием глинистых смешанослойных образований. Материал тонкодисперсный (средний размер частиц 15–18 мкм), малопластичный (число пластичности менее 4), неспекающийся с низкой чувствительностью к сушке. Марганецсодержащие от-

ходы также имеют полиминеральный состав, содержат кварц, полевые шпаты, суммарное содержание оксида марганца составляет около 30 %.

Суглинки, использованные в работе, являются типичными для Западной Сибири, имеют низкое содержание крупнозернистых частиц (зерен больше 0,5 мм менее 1 %). В соответствии с классификацией ГОСТ 9169-75 по содержанию тонкодисперсных фракций – материал низкодисперсный (количество частиц размером меньше 0,001 мм 20–30 %, что соответствует содержанию глинистых минералов). Глинистое сырье, средне- и высокочувствительное к сушке, по минеральному составу относится к полиминеральным породам, по классификации глинистой составляющей – в основном к монтмориллонит-каолинит-гидрофлюидному типу.

Состав сырьевых смесей для приготовления слоев модельных керамических образцов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Состав сырьевых смесей для приготовления
модельных образцов

Образец	Сырье	Содержание компонента в составе шихты в зависимости от номера слоя, мас. %				
		1-й слой	2-й слой	3-й слой	4-й слой	5-й слой
Модельный образец из ОЖР	Шламыстые железорудные отходы	–	25	50	75	100
	Новокузнецкий суглинок	100	75	50	25	–
Модельный образец из ОМР	Отходы добычи марганцевых руд	–	25	50	75	100
	Бердский суглинок	100	75	50	25	–

Эксперимент

Техника изготовления образцов – моделей состояла в следующем: в лабораторную цилиндрическую пресс форму послойно засыпалась шихта с различным процентным соотношением компонентов ядра и матрицы. Особое внимание при при-

готовлении шихт уделялось гомогенизации компонентов в каждом слое и равномерности распределения влажности всех слоев. Модельный образец формовался при удельном давлении прессования 15 МПа и после сушки в сушильном шкафу при 105 °С обжигался в муфельной печи при максимальной температуре 1000 °С с изотермической выдержкой в течении 1,5 ч. Организация принудительного воздухообмена при обжиге осуществлялась за счет продувки образца согласно схеме, показанной на рис. 2.

Для принудительной диффузии газа в теле образца и массопереноса между слоями сквозное цилиндрическое отверстие с одной стороны плотно закупоривали каолиновой ватой на глиняной связке (рис. 3а). Через смотровое отверстие муфельной печи по каолиновой трубке в модельный образец подавали направленный воздушный поток (рис. 3б,в) при помощи компрессора низкого давления (0,014 МПа, производительность 100 л/ч).

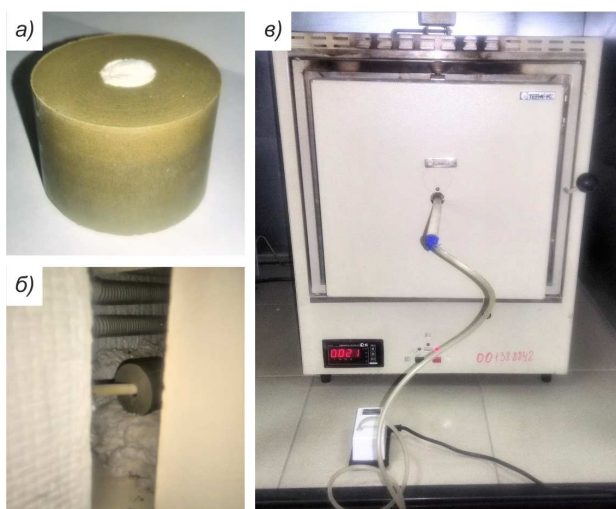


Рис. 3. Обжиг модельного образца с организацией принудительного воздухообмена:
а – необожженный модельный образец; б – каолиновая трубка в теле образца; в – муфельная печь

На рис. 4 показан керамический модельный образец, полученный из шламистых железорудных отходов и новокузнецкого суглинка по вышеописанной технике приготовления. В качестве материала ядра использовался ОЖР, оболочки – суглинок.



Рис. 4. Модельный образец, полученный из ОЖР и новокузнецкого суглинка:

- 1 – оболочка; 2 – переходная зона со стороны оболочки;
3 – центральная область переходной зоны; 4 – переходная зона со стороны ядра; 5 – ядро

На рис. 5 показан керамический модельный образец, полученный аналогичным образом из отходов добычи марганцевых руд и бердского суглинка. У него, напротив, в качестве материала ядра использовался суглинок, а оболочки – ОМР.

Как видно из рис. 4, 5, модельные образцы четко структурированы по слоям, не имеют внутренних межслоевых трещин расслаивания. Для образца из марганецсодержащих отходов характерно ярко выраженное различие цветовой окраски слоев. Таким образом, разработанная концептуальная схема формирования переходных слоев между оболочкой и ядром матричного

композита обеспечивает получение модельных образцов из различных видов сырьевых материалов.

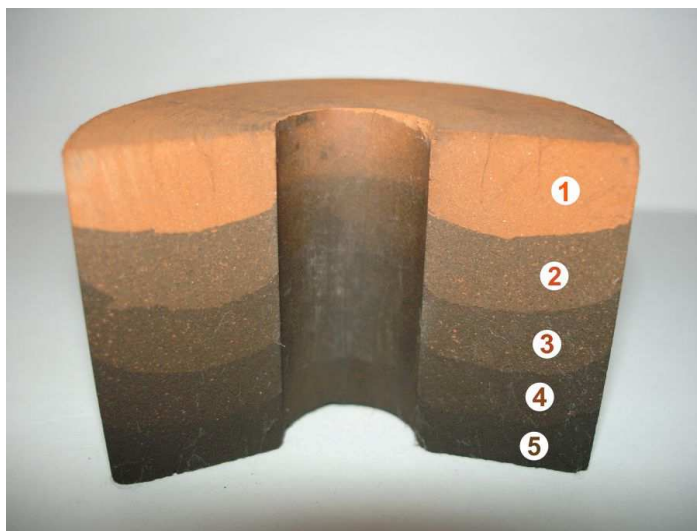


Рис. 5. Модельный образец, полученный из ОМР и бердского суглинка:

- 1 – ядро; 2 – переходная зона со стороны ядра;
3 – центральная область переходной зоны; 4 – переходная зона со стороны оболочки; 5 – оболочка

После обжига для проведения рентгенофазового анализа и определения минерального состава агрегированных ядер и оболочки керамических матричных композитов из каждого слоя образцов отбирается материал в количествах, необходимых для проведения исследований.

Основные результаты

Анализ послойных рентгенограмм модельных образцов на основе железорудных отходов позволил выявить качественные и количественные отличия основных кристаллических фаз при переходе от ядра к оболочке матричного композита. Минералогический состав ядра представлен кварцем, гематитом, полевым

шпатом и сложными пироксенами типа авгита. В оболочке наряду с реликтами кварца в значительной степени образуются стеклофаза, гематит и железистые шпинели. Детальное описание этого исследования приведено в работе [8]. Следует отметить, что полученные экспериментальные данные совпадают с прогнозом протекания вероятных твердофазных реакций, основанным на расчетах энергии Гиббса [9].

Заключение

Таким образом, проведенные исследования по моделированию границы раздела сред в керамических материалах матричной структуры показали положительные результаты. Модельные образцы необходимы для детального изучения фазового состава керамических материалов матричной структуры из различных видов техногенного и природного сырья, качественной и количественной оценке послойного изменения минеральных новообразований в переходном слое композитов.

Такие исследования в комплексе с изучением физико-механических свойств «реальных» образцов матричной структуры позволят прогнозировать минимально необходимое количество глинистой компоненты в составе шихты для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств изделий.

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

Список литературы

1. *Лопатников, М. И.* Минерально-сырьевая база керамической промышленности России / М. И. Лопатников // Строительные материалы. – 2004. – № 2. – С. 36–39.
2. *Дворкин, Л. И.* Строительные материалы из отходов промышленности : учебно-справочное пособие / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. – 368 с.

3. *Кондратенко, В. А.* Проблемы кирпичного производства и способы их решения / В. А. Кондратенко, В. Н. Пешков, Д. В. Следнев // *Строительные материалы*. – 2002. – № 3. – С. 43–45.
4. *Malaikiene, J.* Frost Resistant Ceramics Produced from Local Raw Materials and Wastes / J. Malaikiene, R. Maciulaitis // *Procedia Engineering*. – 2013. – № 57. – Р. 739–745.
5. *Котляр, В. Д.* Методика испытания камневидного сырья для производства стеновых керамических изделий компрессионного формования / В. Д. Котляр, Ю. В. Терехина, А. В. Котляр // *Строительные материалы*. – 2014. – № 4. – С. 24–27.
6. *Стеновая керамика из нетрадиционных сырьевых материалов* / Б. К. Кара-сал [и др.] // *Строительные материалы*. – 2016. – № 4. – С. 33–36.
7. *Керамические стеновые материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья* / А. Ю. Столбоушкин [и др.] // *Строительные материалы*. – 2016. – № 08. – С. 19–23.
8. *Фазовый состав минеральных новообразований на границе ядра и матрицы в керамическом материале матричной структуры* / А. Ю. Столбоушкин [и др.] // *Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России : труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. – Новокузнецк : СибГИУ, 2016. – С. 150–155.
9. *Столбоушкин, А. Ю.* Прогнозирование твердофазных реакций при обжиге керамических стеновых материалов ячеистозаполненной структуры / А. Ю. Столбоушкин // *Инновационные разработки и новые технологии в строительном материаловедении : Международный сборник научных трудов*. – Новосибирск, 2014. – С. 57–65.