Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия архитектуры
и строительных наук
Ассоциация строительных вузов
Правительство Белгородской области
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова

Международная научно-практическая конференция, посвященная 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ (XXIII научные чтения)

Сборник докладов
Часть 1

29 апреля
Белгород 2019

УДК 001.2
ББК 72+65.291
М 43

М 43 **Наукоемкие** технологии и инновации: эл. сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. – Ч. 1. – 164 с.

ISBN 978-5-361-00698-4

В сборнике представлены результаты исследований, направленных на совершенствование и разработку новых эффективных технологий производства строительных и композиционных материалов

Материалы сборника предназначены для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и производственных организаций и могут быть полезны для преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов вузов.

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. И.Н. Борисов, д-р техн. наук, проф. В.С. Бессмертный.

УДК 001.2
ББК 72+65.291

ISBN 978-5-361-00698-4

© Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2019

Часть 1 **ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

СОДЕРЖАНИЕ

Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Килюшева Н.В. Влияние обработки древесины сосны органо-минеральным раствором на ее поверхностное натяжение 6
Бабаев З.К., Джуманиязов З.Б., Джаберганов Дж.С. Механоактивация лессовидного суглинка и возможности производства высококачественного кирпича в условиях Узбекистана 11
Бессмертный В.С., Яловенко Т.А., Варфоломеева С.В., Назарова С.П. Инновационная энергосберегающая технология получения защитно-декоративных покрытий на листовых строительных стеклах 18
Бондаренко Н.И., Яловенко Т.И., Сопотов И.А., Даценко А.О. Энергосберегающая технология получения смальты на основе боя тарных цветных стекол 21
Братчун В.И., Беспалов В.Л. Модифицированные дорожные асфальтобетоны повышенной долговечности 25
Булгаков М. Основные идентификационные признаки геокомпозитов 31
Дороганов В.А., Вареникова Т.А., Яшкин А.Н. Влияние добавки перлита на физико-механические свойства корундовых легковесных огнеупоров на основе гидравлических вяжущих 36
Дороганов В.А., Неверова Е.В. Исследование свойств систем искусственных керамических вяжущих полученных на основе полевого шпата и песка 40
Дороганов Е.А., Сыса О.К., Шакурова Н.В. Влияние способа формования на микроструктуру и морозостойкость керамического кирпича 46
Егорова А.Д., Алексеева А.Н., Ефремова С.Е., Ноговицина О.Н. Исследование структуры и свойств глинистого сырья Республики Саха (Якутия) 51
Ерофеев В.Т., Дергунова А.В., Аль Дулайми С.Д.С. Исследование биобетонов и их применение 56
Ерыгина А.О., Мишин Д.А., Никитина М.А. Взаимодействие оксида калия с трехкальциевым алюминатом 60

Жуманиязов М.Ж., Бабаев З.К., Ходжаев А.Ш., Юсупова М.Р. Сырьевые источники приаралья для производства портландцемента в Узбекистан 64
Зайченко Н.М., Нефедов В.В. Кислотно-основные характеристики поверхности наполнителя полимерного композита на основе золы-уноса теплоэлектростанций 69
Клименко В.Г. К вопросу проектирования состава многофазовых гипсовых вяжущих 74
Косенко Н.Ф., Филатова Н.В., Пимков Ю.В., Муллитсодержащие композиционные материалы на основе активного кремнезема 79
Кочерженко А.В., Марушко М.В., Рябчевский И.С. Пенополиуретановая теплоизоляция с улучшенными эксплуатационными свойтвами 84
Лазарева Е.А. Решение проблемы деградации нихромовых сплавов в условиях высокотемпературной коррозии 89
Лазарева Е.А., Садчикова И.Н., Тышлангян Ю.С., Лазарева Г.Ю. Виды декоративно-отделочных материалов для дизайна архитектурной среды и строительства 95
Минько Н.И., Добринская О.А., Добринский М.В. Гидроксильные группы в структуре силикатного стекла 104
Морева И.Ю., Вареникова Т.А., Кириллова Н.К. Аддитивные технологии в производстве керамических изделий 109
Нелюбова В.В., Усиков С.А., Масанин О.О. Особенности сырьевого состава смеси для высокопрочных бетонов в России 112
Низина Т.А., Володин В.В., Балыков А.С. Дегидратированная глина как эффективная минеральная добавка для бетонов 116
Новоселов А.Г., Вакуленко Е.А., Ершова Ю.И. Исследование влияния шлака ОЭМК на свойства клинкера и цемента 122
Огурцова Ю.Н., Дроздов О.И. Влияние биоцидных добавок на водоотделение и сроки схватывания глиноземистого цементного теста 128
Погорелова И.А., Малюкова М.В., Корякина А.А. Применение сверхэффективных бетонов 133
Сивальнева М.Н., Кобзев В.А. Реология модельных систем пенобетона на основе бесцементного вяжущего 138
Столбоушкин А.Ю., Фомина О.А., Акст Д.В. Теоретические аспекты получения строительных керамических матричных композитов из малопластичного неспекающегося сырья 142

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ ИЗ МАЛОПЛАСТИЧНОГО НЕСПЕКАЮЩЕГОСЯ СЫРЬЯ

Столбоушкин А.Ю., д-р техн. наук, профессор,
Фомина О.А., канд. техн. наук,
Акст Д.В., аспирант
Сибирский государственный индустриальный университет

Аннотация. Разработаны модели структуры строительного керамического матричного композита на основе малопластичного неспекающегося техногенного и природного сырья. Макроструктура материала состоит из матрицы, сформированной из легкоплавкой глинистой компоненты шихты, и ядер, сформированных из неспекающегося техногенного сырья. Представлена модель формирования переходного слоя из продуктов взаимодействия оболочки и ядра керамического матричного композита.

Ключевые слова: керамический матричный композит, дисперсионная среда, дисперсная фаза, переходный слой, граница раздела фаз.

На современном этапе развития технологии строительных материалов можно выделить следующие основные предпосылки получения новых видов керамических изделий матричной структуры:

- сокращение запасов качественного глинистого сырья;
- повышение эффективности технологии компрессионного формования керамических строительных материалов [1];
- необходимость в утилизации техногенных минеральных отходов, по своим свойствам близким к неспекающемуся малопластичному глинистому сырью;
- развитие теоретических основ формирования керамических изделий полусухого прессования отечественной научной школой керамики.

«Классические» способы производства строительных керамических материалов из природного сырья неэффективны при переработке тощих суглинков и техногенных отходов, а получаемые изделия не обладают необходимыми эксплуатационными и эстетическими свойствами. Поэтому актуальной является разработка теоретических основ формирования рациональной структуры композиционных материалов из техногенного сырья, результатом которой станут новые технологии производства строительных материалов.

В соответствии с разработанной теоретической моделью [2] керамические матричные композиты можно получить путем «укрупнения» дисперсных частиц отходов в отдельные агрегаты, покрытием их глинистым веществом с последующим прессованием изделий, их сушкой и обжигом. Такая технология позволит сформировать пространственный ячеистозаполненный каркас. При обжиге дисперсионная среда будет продуцировать жидкую фазу, которая внедрится в периферийную зону дисперсной фазы (рис. 1) и после кристаллизации образует прочную матричную структуру.

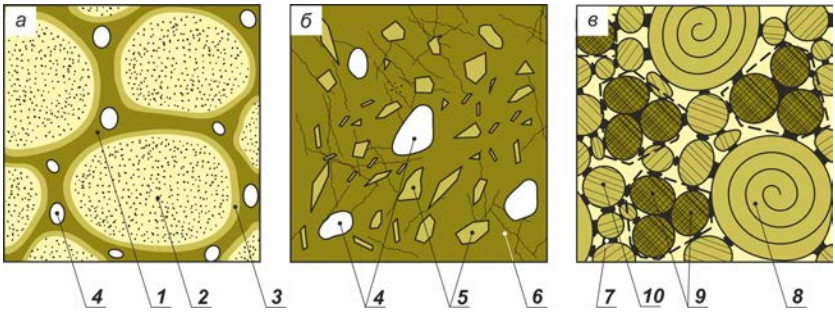

Рисунок 1 - Модели макроструктуры керамического матричного композита (*а*), микроструктуры его матрицы (*б*) и ядер, сформированных из непластичного неспекающегося сырья (*в*): 1 – матрица (наполненное связующее); 2 – ядро (агрегированный заполнитель); 3 – переходный слой между матрицей и ядром; 4 – поры; 5 – наполнитель матрицы (кристаллическая фаза); 6 – связующее матрицы (стекловидная фаза); 7 – пиропластичная фаза; 8 – укрупненные агрегаты частиц; 9 – кластеры; 10 – не агрегированные частицы

Сформированный таким образом керамический матричный композит из техногенного сырья будет иметь полиструктурное строение [3]. При этом гранулы из отходов выступают в роли заполнителя и образуют систему второго уровня. После прессования и обжига опудривающий слой, сформированный из глины, будет представлять собой наполненное связующее и образует систему первого уровня.

По определению композиционные материалы неоднородны в микромасштабе и однородны в макромасштабе [4]. Проведенные ранее исследования строительной керамики на основе техногенных отходов

показывают, что равномерное распределение элементов микроструктуры материала после обжига практически недостижимо [5].

Согласно модели формирования структуры керамического матричного композита из техногенного сырья аморфизированное вещество, образующееся за счет легкоплавких примесей, будет соединять зерна кристаллических фаз между собой.

Теоретически можно предположить, что структура наполненного связующего, содержащего стеклофазу (матрица – 1, рис. 1, *а*) и образующего пространственный ячеистозаполненный каркас матричного композита, в свою очередь, должна иметь внутреннее «армирование». Для матрицы внутренний армирующий каркас будет формироваться из реликтовых породообразующих минералов типа кварца, полевых шпатов и др., а также минеральных фаз, вновь образованных в результате высокотемпературного синтеза при обжиге керамики (рис. 1, *б*).

В процессе формирования ядер при получении керамических матричных композитов путем «укрупнения» дисперсных частиц техногенного сырья в гранулы упорядоченное распределение микроструктурных элементов техногенных отходов возможно только в отдельных локальных зонах. В процессе грануляции по сечению гранул будут формироваться агрегаты частиц, связанных поверхностными силами, кластеры – группы частиц, склеенных связкой из жидкой фазы, и индивидуальные не агрегированные частицы (поз. 8, 9, 10, рис. 1, *в*).

Такое сырцовое строение гранул будущего композиционного материала в дальнейшем обеспечит наилучшее сочетание эксплуатационных свойств, прежде всего, прочности и водопоглощения за счет плотной упаковки частиц при грануляции. Однако, достижение необходимого результата возможно только при условии оптимального насыщения внутренней системы ядра пиропластичным связующим, обеспечивающим плотную «контактную сварку» частиц твердой фазы при обжиге (пиропластичная фаза – 7, рис. 1, *в*).

Теоретически взаимодействие микроструктурных элементов гранулированных техногенных отходов при обжиге (процесс спекания) может протекать как через вязкий, обычно стекловидный, расплав (жидкофазное спекание), так и при непосредственном контакте твердыми поверхностями (твердофазное спекание).

Принимая во внимание то обстоятельство, что максимальная температура обжига строительной керамики обычно не превышает 1000-1050°С, формирования значительного количества жидкой пиропластичной фазы обычно не происходит. Поэтому в масштабах

гранулы процесс протекает по схеме твердофазного спекания, при этом, как правило, полного спекания ядер не происходит (эффект недоспеченных ядер или конгломератов).

Таким образом, для достаточного внутреннего насыщения гранул пиропластичной связкой, объединяющей агрегаты, кластеры и отдельные частицы в единую систему, в зависимости от вещественного состава и технологических свойств неспекающегося техногенного сырья в ряде случаев может потребоваться искусственное обогащение техногенных отходов корректирующими добавками легкоплавкой глины или плавня. Учитывая незначительный объем жидкой фазы, необходимой для спекания структурных элементов заполнителя в местах их контакта друг с другом по типу «точечной сварки», количество добавки не должно превышать 7-10 % от общего объема гранулируемого сырья.

Напротив, в граничном слое при определенных условиях, связанных с образованием значительного количества низкотемпературной эвтектики за счет введения плавней или химического взаимодействия компонентов оболочки с продуктами разложения термоактивных компонентов гранул, можно предположить преимущественное развитие схемы жидкофазного спекания в матрице композита.

При разработке теоретической модели отдельно стоит остановиться на формировании переходного слоя между матрицей и ядром композита (поз. 3, рис. 1, *а*). В общем виде механизм взаимодействия между матрицей и заполнителем керамического композита может быть двух типов [6]. Не рассматривая первый тип, без образования переходного слоя, предположим, что процесс формирования внутренних поверхностей раздела фаз или компонентов будет затрагивать приграничные зоны дисперсной фазы (гранулы из дисперсных частиц) и дисперсионной среды (матрицы из легкоплавкой глины). В этом случае сформированная внутренняя поверхность раздела фаз в композите будет относиться к типу, характеризующемуся переходным слоем (рис. 2).

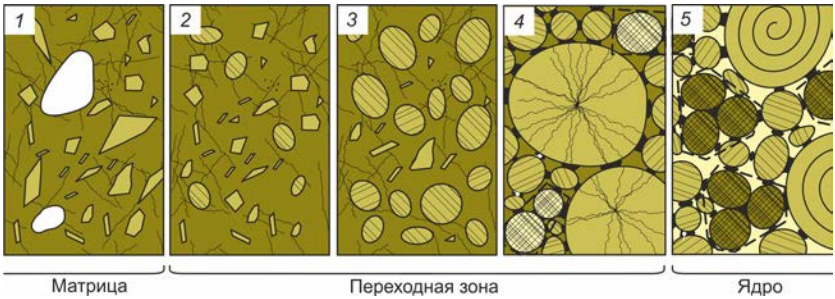

Рисунок 2 - Модель формирования переходного слоя из продуктов взаимодействия оболочки и ядра керамического матричного композита: 1 – матрица (оболочка); 2 – переходная зона со стороны оболочки; 3 – центральная область переходной зоны; 4 – переходная зона со стороны ядра; 5 – ядро

В процессе обжига переходный слой сформируется из продуктов взаимодействия компонентов матрицы и ядра (гранулированный заполнитель) и имеет свойства, отличающиеся от свойств исходных материалов [6].

Проведенные экспериментальные исследования [7] подтвердили адекватность разработанной модели строительного керамического матричного композита. Установлено взаимодействие матричной оболочки с силикатными и оксидными фазами ядра, что обеспечивает высокую прочность композита после обжига. Например, прочность строительной керамики с матричной структурой из непластичных шламов обогащения железных руд (70-80 % по массе) и суглинка (20-30 % по массе) при суммарном содержании глинистых 5-6 % по массе составляет 15-24 МПа после обжига при 1050°С, что превышает аддитивную прочность керамического материала после обжига смеси компонентов в 1,5-2 раза.

Результаты исследования 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. Ашмарин Г.Д., Курносов В.В., Беляев С.В., Ласточкин В.Г. Обоснование эффективности компрессионного формования керамических строительных материалов // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 8–9.
2. Столбоушкин А.Ю. Теоретические основы формирования керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 10–13.
3. Хрулев В.М., Тентиев Ж.Т., Курдюмова В.М. Состав и структура композиционных материалов. – Бишкек: Полиглот, 1997. 124 с.
4. Композиционные материалы: справочник / под ред. Д.М. Карпиноса. – Киев: Наукова думка, 1985. 592 с.
5. Столбоушкин А.Ю. Формирование прочной структуры керамического кирпича на основе шламистой части хвостов обогащения железных руд // Комплексное использование минерального сырья. 1993. № 2. С. 80–84.
6. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. – М.: Мир, 1982. 336 с.
7. Столбоушкин А.Ю., Верещагин В.И., Фомина О.А. Фазовый состав переходного слоя ядро–оболочка строительной керамики матричной структуры из непластичного сырья с добавками глины // Стекло и керамика. 2019. № 1. С. 19–25.