

УДК 691.4+666.7

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ ИЗ СУГЛИНКА С ДОБАВЛЕНИЕМ ОСАДКА ВОДООЧИСТКИ

Шахов Сергей Александрович,

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Химия» ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения», Россия, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191. E-mail: sashakhov@mail.ru

Рудая Татьяна Леонтьевна,

аспирант ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения», Россия, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191. E-mail: lativtik@ya.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью расширения сырьевой базы строительной индустрии, а также разработки эффективной технологии утилизации отходов станций подготовки питьевой воды.

Цель работы: выбор рационального состава шихты на основе суглинка и осадка, образующегося при подготовке питьевой воды для получения строительной керамики.

Методы исследования: Дифференциально-термический анализ, рентгенофазовый анализ, ртутная порометрия, электронная микроскопия.

Результаты: Образцы из масс с осадком имеют меньшую кажущуюся плотность и большее водопоглощение по сравнению с образцами без добавки, что обусловлено органоминеральной природой осадка. Добавление в состав шихты осадка в количестве 10–15 % не изменяет и даже способствует некоторому увеличению механической прочности, что связано с изменением структуры пористости керамики. Дальнейшее увеличение количества вводимого осадка снижает механические характеристики обожженных образцов по сравнению с образцами без добавки.

Выводы: Осадок обладает полифункциональным ресурсом для воздействия на процессы спекания и формирования структуры керамики. Основой применения осадка в материалах на основе суглинков является физическое и химическое сродство их состава и свойств, основанное на их коллоидно-химическом происхождении в природных условиях. Рациональное содержание добавки в шихте составляет 15 % по массе. Органоминеральная природа и энергетический потенциал осадка водоочистки, а также высокая степень его технологической готовности (не требует помола) позволяют получить экономию за счет уменьшения потребности во внешней тепловой энергии.

Ключевые слова:

Строительная керамика, осадок водоочистки, кварц, глинистые частицы, пористая структура.

Введение

В настоящее время выпуск качественного кирпича во многих районах РФ ограничен сырьевой базой, так как большая часть качественного глинистого сырья уже выработана. Одним из путей решения данной проблемы является вовлечение в производство неиспользуемых или ограниченно используемых техногенных отходов. К числу актуальных направлений связанных с утилизацией отходов относится использование в строительной индустрии осадков, образующихся при подготовке питьевой воды.

Обработка природной воды на станциях водоподготовки заключается в ее очистке от механических примесей, предварительном хлорировании, коагулировании, отстаивании, фильтровании, обеззараживании хлором [1, 2]. Отходами водоочистки является осадок, содержащий частицы как минерального, так и органического происхождения. Осадки очистных сооружений содержат в своем составе токсичные вещества (токсичную органику и др.) и различные виды представителей микрофлоры, в том числе патогенные [3, 4].

В процессе функционирования станций очистки городов России образуется более 90 млн м³ в год (2,7–4,5 млн т по сухому веществу) влажных, пло-

хо обезвоживаемых осадков [1, 5]. Основная масса осадков, выделяемых в процессе очистки, направляется на обезвоживание, длительное хранение на иловые поля, шламонакопители, полигоны, отвалы либо сбрасываются в водоемы, что наносит ощутимый вред окружающей среде. При обезвоживании и хранении осадка фильтрат поступает в поверхностные и подземные источники, осадок распространяется на большие расстояния с помощью животных (птицы, грызуны), под иловые площадки отчуждаются значительные площади земли. Таким образом, осадок представляется опасным в санитарно-гигиеническом и экологическом отношении отходом, требующим специальной обработки или захоронения с целью предотвращения неконтролируемых загрязнений окружающей среды.

Выбрасываемые с осадком ценные компоненты могли бы использоваться в народном хозяйстве, так как они содержат большое количество органики и элементов минерального происхождения [1, 6, 7]. В частности, потенциально осадки водоочистки могут быть задействованы в производстве строительной керамики в различных качествах: как замена компонентов сырьевой смеси, в качестве корректирующих и активных добавок и т. д.

[8–13]. Вместе с тем повышенная химическая активность и осадков водоподготовки, и глинистых пород, обусловленная высокой степенью их дисперсности, особенностями строения и вещественного состава, убеждает в наличии большого потенциала этих отложений как естественного сырья для синтеза искусственных алюмосиликатов. Однако, учитывая разнообразие качества осадков, технологические схемы их обработки должны выбираться в каждом конкретном случае индивидуально [14–17].

Цель настоящей работы: выбор рационального состава шихты на основе суглинка и осадка, образующегося при подготовке питьевой воды для получения строительной керамики.

Характеристика материалов и методика экспериментов

Для получения керамики использовались технологические пробы суглинков Камышевского месторождения Новосибирской области. Химический состав суглинков приведен в табл. 1. По химическому составу сырье является кислым ($Al_2O_3 < 15$ мас. %), с низким содержанием водорастворимых солей. Анализ гранулометрического состава показал, что суглинки относятся к грубодисперсному сырью (глинистых частиц менее 20 мас. %) и являются пылеватыми. По пластичности суглинков относится к умереннопластичному классу и является среднечувствительным к сушке.

Использованный в работе в качестве добавки осадок водоочистки представляет собой смесь минеральных и органических веществ (табл. 1), формирующуюся в виде коллоидного раствора (влажность 95–97 %) в процессе отстаивания на водоочистной станции № 5 МУП Горводоканал, г. Новосибирск [2]. В осадках доминирует оксид кремния. Сравнительно много оксидов алюминия, железа, магния и кальция (табл. 1, рис. 1, 2). В минеральной части осадков обнаружено также наличие других (более 20) элементов. Органическая часть

представлена белками, углеводами и жирами и составляет до 45 % массы (табл. 2).

Таблица 1. Состав минеральной части суглинка и осадка водоочистки

Table 1. Structure of solid part of loam and water purification deposit

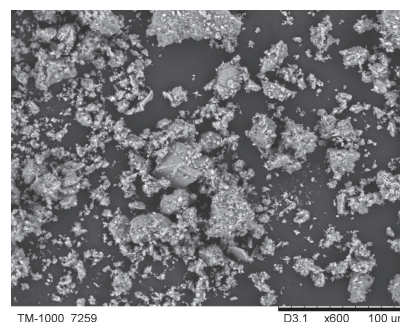
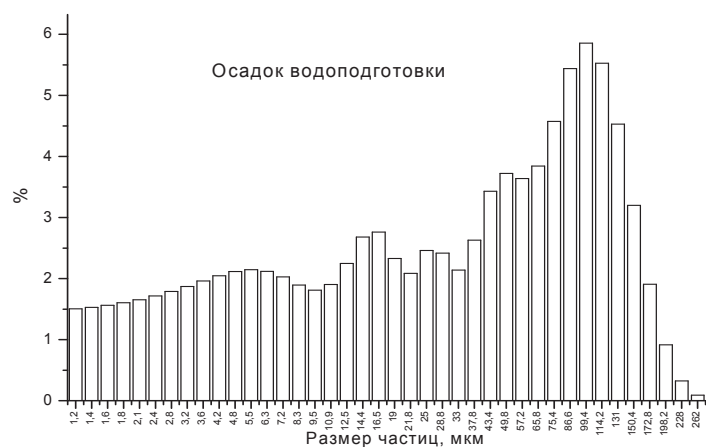
Компонент шихты Feed component	Содержание оксидов, мас. % Oxide content, wt. %						Потери при прокаливании сверх 100 % Ignition losses over 100 %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	
Камышевское Kamyshvskoe	68,70	11,78	4,10	4,76	1,68	3,60	5,62
Осадок водоочистки Water purification deposit	53,7	13,2	5,4	4,58	4,7	–	44,7

Таблица 2. Элементный состав органической части осадка водоочистки (в пересчете на сухое вещество в масс. %)

Table 2. Ultimate composition of water purification deposit integral part (equivalent to dry matter in wt. %)

Наименование Name	C	H	N	S	P	O
Осадок водоочистки Water purification deposit	35,0...40,0	4,6...4,9	1,5...2,1	0,6	0,6	16,0

Керамические образцы изготавливались методом пластического формования с последующей сушкой и обжигом на воздухе при температурах 950–1100 °С. У образцов определяли среднюю плотность (ρ_{cp}), водопоглощение (W), прочность при сжатии (σ), а также характер изменения этих параметров в зависимости от состава шихты и температуры обжига (T).



a/a

b/b

Рис. 1. Гранулометрический состав (а) и микрофотография частиц (б) осадка водоочистки

Fig. 1. Grain-Size Composition (a) and microphotograph of particles (b) of water purification deposit

Для определения фазового состава керамических образцов применялся рентгенофазовый анализ (РФА), который выполнялся на дифрактометре Bruker D8 Advance с использованием Cu-K_α излучения. Для идентификации полученных дифрактограмм использовалась база данных PDF2 с оболочкой Search-Match.

С целью выявления особенностей спекания и фазообразования керамического черепка выполнялся синхронный термический анализ (СТА). Термогравиметрические кривые были получены с помощью микротермовесов TG 209 F1 (фирма Netzch). Массы образцов были в пределах 30 мг, использован стандартный корундовый держатель образца. Скорость нагрева 10 град/мин, скорость протока аргона 40 $\text{см}^3/\text{мин}$, скорость протока кислорода 10 $\text{см}^3/\text{мин}$. Использован метод С-DТА.

Микроструктура керамического черепка и применяемых шлаков изучалась с помощью электронной микроскопии совместно с локальным рентгеноспектральным анализом. Электронные микрофотографии и элементный анализ были получены на электронном микроскопе Hitachi TM-1000, оснащенный энергодисперсионным детектором TM1000 EDS.

Гранулометрический состав сырья определяли на лазерном анализаторе частиц «Микросайзер-201А».

Результаты экспериментов

Ключевой стадией в технологии строительной керамики, на которой в процессе спекания формируется прочная водостойкая умереннопористая структура, является обжиг.

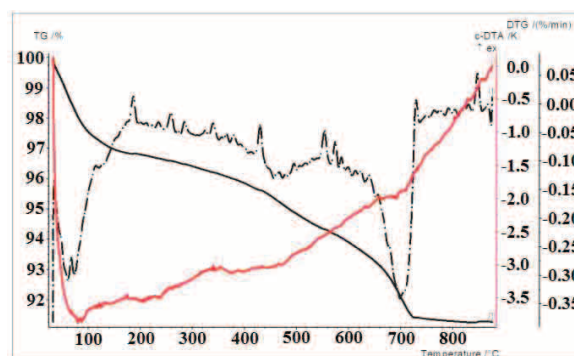
Таблица 3. Структурно-механические свойства исследуемых образцов (температура обжига 1000 °С)

Table 3. Structural-mechanical properties of the samples (burning temperature is 1000 °C)

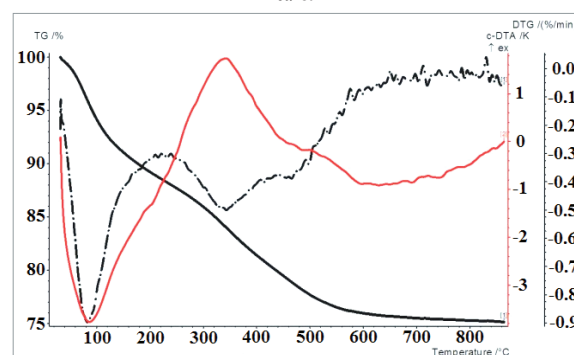
Параметр Parameter	Глина Clay	Глина+осадок Clay+deposit				
		10	15	20	25	30
		%				
Кажущаяся плотность, $\rho_{\text{ср}}$, г/см ³ Apparent density, $\rho_{\text{ав}}$, g/cm ³	2,04	1,87	1,87	1,86	1,73	1,68
Водопоглощение, W , % Water absorption, W , %	11,7	15,4	15,27	17,68	20,92	23,4
Прочность на сжатие, σ , кг/см ² Compression, σ , kg/cm ²	148,5	152	157,1	134	126,7	126,3

Представленные в табл. 3 данные свидетельствуют о том, что образцы из масс с осадком имеют меньшую кажущуюся плотность и большее водопоглощение по сравнению с образцами без добавки, что обусловлено органоминеральной природой осадка. Обращает внимание, что добавление в состав шихты осадка в количестве 10–15 % не изменяет и даже способствует некоторому увеличению механической прочности. Дальнейшее увеличение количества вводимого осадка снижает механические характеристики обожженных образцов по

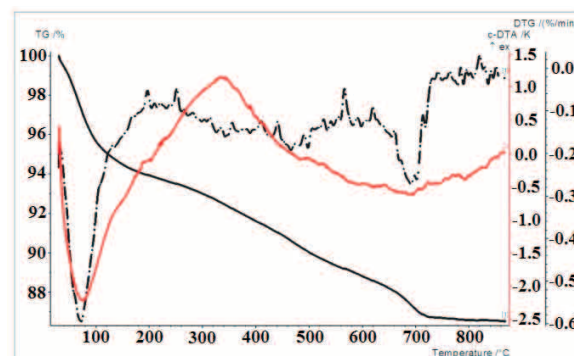
сравнению с образцами без добавки. С учетом этого, как более рациональный, был выбран состав двухкомпонентной шихты: осадок водоочистки в количестве 15 % и суглинков в количестве 85 %.



а/а



б/б



в/в

Рис. 2. Термограммы образцов: а) суглинок (Камышевское месторождение); б) осадок водоочистки; в) шихта (суглинок 85 %, осадок 15 %)

Fig. 2. Thermographs of the samples: а) Clay loam (Kamyshovskoe deposit); б) water purification deposit; в) feed (Clay loam is 85 %, deposit is 15 %)

Для анализа процессов, которые будут протекать при обжиге керамической шихты кирпича с добавкой осадка, были проанализированы термограммы глины, осадка и шихты рационального состава (рис. 2). Анализ результатов ДТГ исследуемых составов показывает, что в интервале 60–120 °С наблюдаются эндоэффекты, связанные с удалением адсорбированной воды. В интервале 120–420 °С происходит наиболее интенсивное выго-

рание органических примесей. Процессы дегидратации глинистых минералов, сопровождающиеся разрушением кристаллических решеток, протекают при температурах 540–560 и 660–720 °С. Из высокотемпературных эндозффектов следует отметить эффекты, связанные с разложением глинистых минералов (545 и 660 °С) и карбонатов (825 °С).

Характер зависимости плавкости камышенского суглинка от температуры (рис. 3), построенной графическим методом по диаграмме состояния $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ [18], позволяет предположить, что данный суглинок относится к трудноспекающимся: спекание до 1150 °С происходит практически без участия расплава.

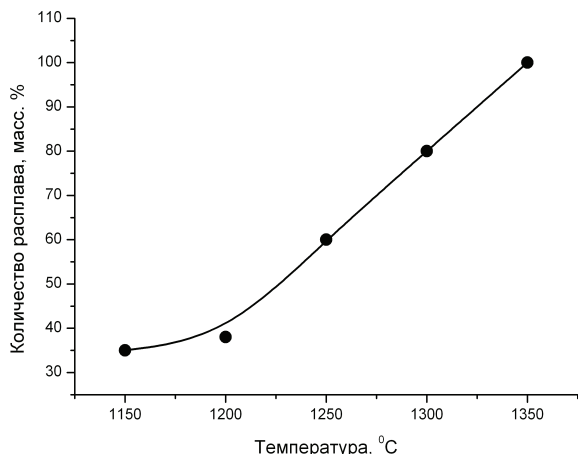


Рис. 3. Зависимость плавкости камышенского суглинка от температуры, рассчитанная по диаграмме состояния системы $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

Fig. 3. Dependence of fusibility of kamyschensky clay loam on temperature calculated by the diagram of state of $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ system

Анализ экспериментальных данных по изменению кажущейся плотности, водопоглощения и механической прочности образцов в зависимости от температуры их обжига (рис. 4) показывает, что с повышением температуры обжига наблюдается уменьшение водопоглощения и увеличение кажущейся плотности и прочности.

Наибольшей прочностью при сжатии обладают образцы, полученные из шихты с 15 % осадка. При более высоком содержании осадка прочность образцов снижается и практически достигает значений, характерных для образцов из чистого суглинка. Поскольку рентгенофазовый анализ образцов, спеченных в интервале температур до 1050 °С, не выявил образования новых фаз, то сохранение и даже некоторое увеличение прочности у образцов с содержанием осадка до 15 %, по-видимому, связано с изменением структуры пористости. Результаты исследования пористо-капиллярной структуры образцов методом ртутной порометрии (рис. 5) подтверждают предположение об изменении структуры пористости: введение осадка приводит к существенному уменьшению доли объема пор размером 5–50 мкм.

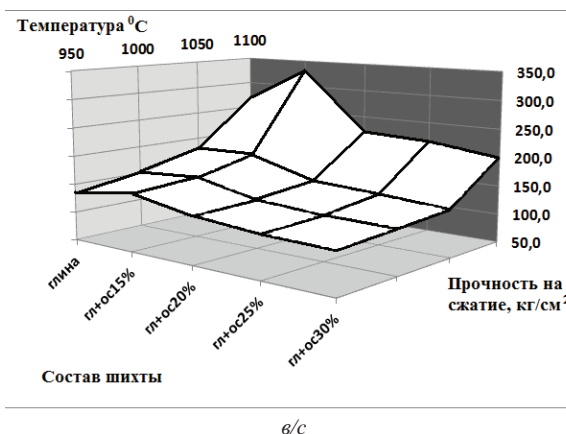
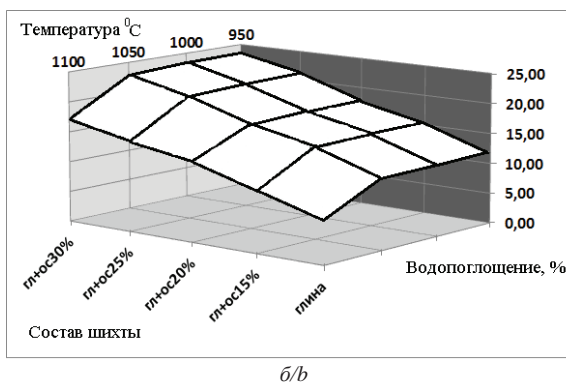
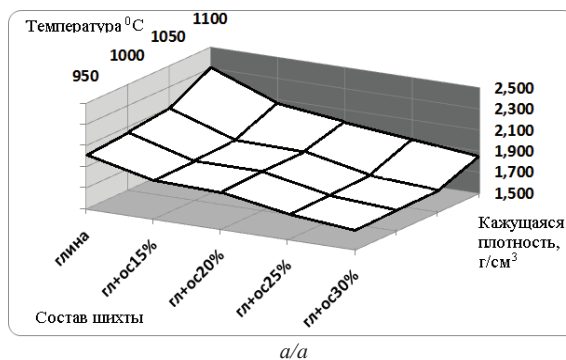


Рис. 4. Зависимости кажущейся плотности (а), водопоглощения (б) и прочности на сжатие (в) образцов от количества добавляемого осадка в шихту и от температуры спекания

Fig. 4. Dependence of apparent density (a), water absorption (b) and compression (c) of the samples on amount of deposit added into feed and on sintering temperature

Микроструктура образцов керамики (рис. 6) характеризуется чередованием твердой и пористой фаз с равномерным распределением кристаллических соединений в виде кварца и гематита. Пористая структура образцов керамического кирпича без добавки имеет поры от 30 до 1100 мкм. В структуре керамики на основе шихты из суглинка с добавкой осадка (15 %) диаметр пор имеет меньший разброс и не превышает 850 мкм.

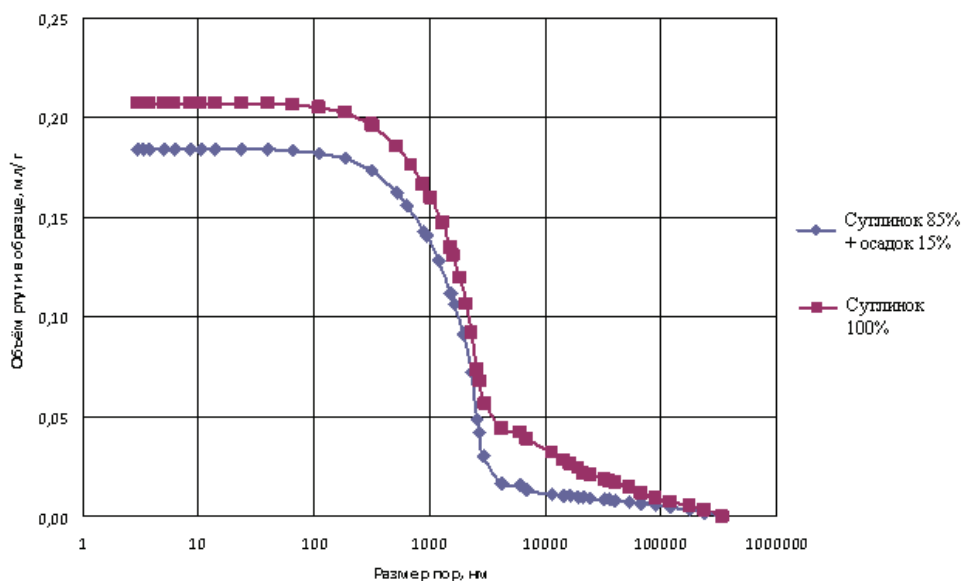
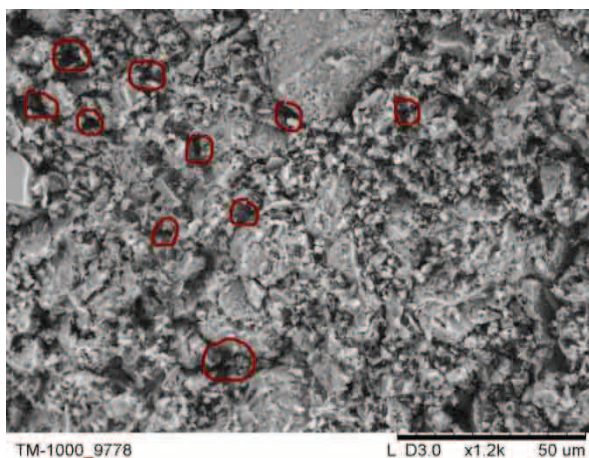
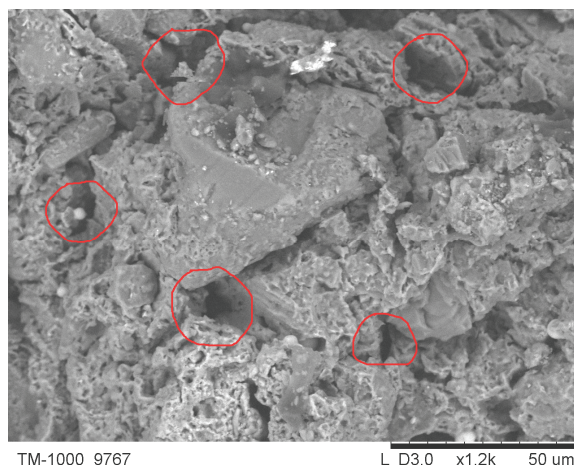


Рис. 5. Распределение пор в образцах по размерам

Fig. 5. Pore size distribution in the samples



а/а



б/б

Рис. 6. Фотографии образцов: а) суглинка; б) шихты (суглинок 85 %, осадок 15 %)

Fig. 6. Photos of the samples: a) clay loam; b) feed (clay loam is 85 %, deposit is 15 %)

Обсуждение результатов

Важнейшая особенность глинистого сырья состоит в том, что чем выше дисперсность, тем большее количество расплава образуется при обжиге. Улучшение спекания таких систем может быть достигнуто при введении в состав шихты добавок в виде плавней или компонентов, взаимодействующих с глинистой составляющей суглинков в твердой фазе [15]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что осадок с водоочистных сооружений (влажность 95–97 %) представляет собой органоминеральную коллоидную систему, обладающую полифункциональным ресурсом для воздействия на процессы спекания и формирования структуры керамики. Введение в состав шихты высокодисперсного компонента – осадка водоочистки, способствует снижению температуры на-

чала образования жидкой фазы по сравнению с чистым суглинком.

Общие закономерности структурных превращений на начальных этапах спекания глин и суглинков достаточно хорошо изучены: при температурах 200–550 °С силикаты теряют кристаллизационную воду, начинаются процессы газовыделения, полиморфные превращения начинаются с температур 500–600 °С [19, 20]. Термограмма шихты из суглинка с добавлением осадка не является простой результирующей термограмм суглинка и осадка. Данное обстоятельство позволяет предположить, что между глиной и осадком происходят определенные физико-химические процессы, обусловленные структурой и свойствами осадка в процессе его образования и превращения в органоминеральный коллоидный комплекс.

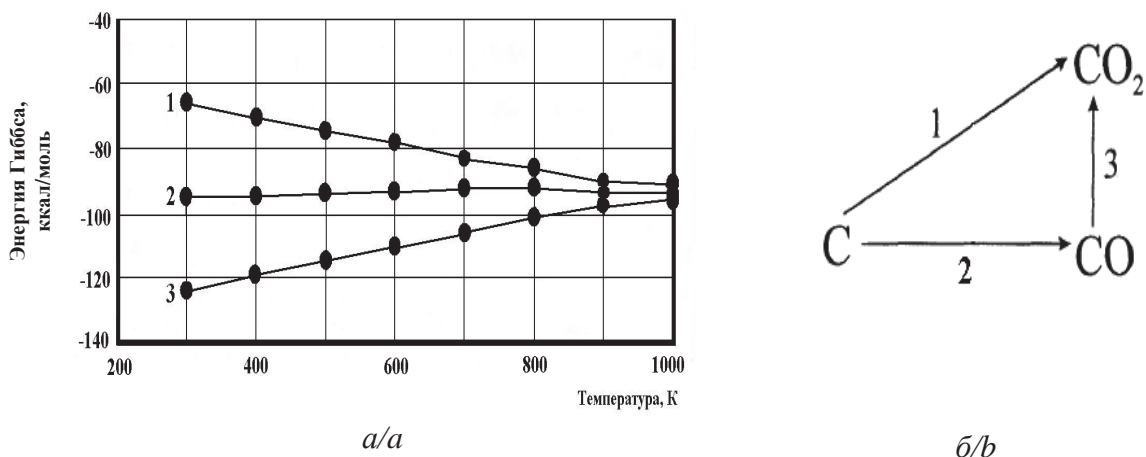


Рис. 7. Изменение энергии Гиббса от температуры (а) и схема превращения (б) при газификации углерода (реакции 1–3)
Fig. 7. Change of Gibbs energy on temperature (a) and the diagram of transformation (b) at carbon gasification (reactions 1–3)

Учитывая значительное содержание органики в осадке, с достаточно высокой степенью достоверности можно предположить, что выделяющиеся при выгорании органических веществ газообразные продукты будут участвовать в процессах формирования пористой структуры керамического материала, а теплотворная способность осадка положительно скажется на тепловом балансе процесса обжига. Для оценки термодинамических превращений различных органических соединений, содержащихся в осадке, вся сумма содержащихся органических соединений была принята за углерод (С). Расчеты проводились для следующих реакций газификации углерода:



Представленные на рис. 7, а результаты термодинамических расчетов, выполненные для условий: температурный интервал исследований 298–1000 К; давление 1 атм., показывают, что процессы образования газовой фазы будут протекать по схеме, представленной на рис. 7, б.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Любарский В.М. Осадки природных вод и методы их обработки. – М.: Стройиздат, 1980. – 340 с.
- Запольский А.К. Очистка городских сточных вод основным сульфатом алюминия // Химия и технология воды. – 1987. – Т. 9. – № 2. – С. 35–37.
- Ляпунов И.Н. Основы химии и микробиологии природных и сточных вод. – Екатеринбург: Уральская гос. лес.-тех. академия, 1995. – 212 с.
- Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. – М.: Высшая школа, 1978. – 247 с.
- Совместная обработка осадков сточных вод и осадков, образующихся на водопроводных станциях / С.В. Яковлев, Б.А., Ганин А.С. Матросов, Б.М. Кольчугин. – М.: Стройиздат, 1990. – 380 с.

Заключение

Основой применения осадка для получения керамики на основе суглинков является физическое и химическое сродство их состава и свойств, основанное на их коллоидно-химическом происхождении в природных условиях.

Конечный фазовый состав и структура керамики зависят от кинетики и степени структурных превращений, определяемых внешними (температура обжига) и внутренними (химический, минеральный и фракционный состав шихты) параметрами.

Экспериментально установлено, что рациональное содержание добавки в шихте составляет 15 % по массе. При указанной дозировке пористость керамики увеличивается на 30 % при сохранении прочности, как у образцов из чистого суглинка.

Органоминеральная природа и энергетический потенциал осадка водоочистки, а также высокая степень его технологической готовности (не требует помола) позволят получить экономию за счет уменьшения потребности во внешней тепловой энергии.

- Sludge treatment, utilization, and disposal / P.T. Bowen, J.E. Hendrick, Th.A. Woodward, L.S. Mitchel, M.P. Lahlou // J. Water Pollut. Control Fed. – 1989. – № 6. – P. 43–55.
- Журба М.Г., Чернышов А.В., Говорова Ж.М. Обработка промывных вод фильтров и осадков водопроводных станций. – М.: Астрель, 2003. – 410 с.
- Масса для изготовления строительных материалов: пат. Рос. Федерация № 1834876 СССР, МПК С 04 В 33/00; заявл. 10.03.92; опубл. 15.08.93, Бюл. № 29. – 3 с.
- Сырьевая смесь для приготовления керамических изделий и способ ее получения: пат. Рос. Федерация № 2005109, МПК С 04 В 33/00, 33/02; заявл. 15.10.91; опубл. 30.12.93, Бюл. № 28. – 4 с.
- Смесь для изготовления керамических изделий: пат. Рос. Федерация № 2005110, МПК С 04 В 33/02.; заявл. 06.05.92; опубл. 30.12.93, Бюл. № 28. – 3 с.

11. Долгарев А.В. Вторичные сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1990. – 456 с.
12. Комплексное использование сырья и отходов / Б.М. Равич, В.П. Окладников, В.Н. Лыгач и др. – М.: Химия, 1988. – 288 с.
13. Боженков П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1994. – 266 с.
14. Беляев А.Н., Щербакова Е.В. Инновационные технологии утилизации отходов // Стройпрофиль. – 2010. – № 2/1. – С. 36–37.
15. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. – М.: Стройиздат, 1977. – 240 с.
16. Шахов С.А., Рудая Т.Л., Кожемяченко А.С. Изучение возможности применения осадка водоочистки при производстве строительной керамики // Известия Вузов. Строительство. – 2013. – № 1. – С. 54–61.
17. Возможности использования вторичного сырья для получения строительной керамики и ситаллов / В.И. Верещагин, А.Е. Бурченко, И.В. Кашук // Строительные материалы. – 2000. – № 7. – С. 20–22.
18. Диаграммы состояния силикатных систем. Тройные системы: Справочник // Н.А. Торопов, В.П. Барзаковский, Н.Н. Курцева и др. – Л.: Наука, 1972. – Вып. 3. – 447 с.
19. Chakraborty A.K. Study of phase transformation of Al_2O_3 - SiO_2 gel and kaolinitic clay // Trans. Indian. Ceram. Soc. – 1978. – V. 37. – P. 197–200.
20. Гузман И.Я. Некоторые принципы образования пористых керамических структур, свойства и применение // Стекло и керамика. – 2003. – № 9. – С. 28–31.

Поступила 27.06.2014 г.

UDC 691.4+666.7

STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CERAMICS FROM LOAM WITH ADDITION OF WATER PURIFICATION DEPOSIT

Sergey A. Shakhov,

Dr. Sc., Siberian Transport University, 191, Dusy Kovalchuk street, Novosibirsk, 630049, Russia. E-mail: sashakhov@mail.ru

Tatyana L. Rudaya,

Siberian Transport University, 191, Dusy Kovalchuk street, Novosibirsk, 630049, Russia. E-mail: lativtik@ya.ru

Relevance of the work is caused by the need to expend a source of raw materials of construction industry as well as to develop the effective technology of recycling wastes of drinking water treatment plant.

The main aim of the research is to select a rational furnace charge composition based on loam and a deposit formed while treating drinking water to obtain structural ceramics.

Research methods: differential and thermal analysis, X-ray phase analysis, mercury measurement of porosity, electronic microscopy.

Results: The samples from masses with a deposit have lower apparent density and higher water absorption in comparison with the samples without additive that is caused by organic and mineral nature of a deposit. Addition of 10–15 % of deposit into furnace charge composition doesn't change and even promotes some increase in mechanical durability that is connected with the change in ceramics porosity structure. The further increase in quantity of deposit entered reduces mechanical characteristics of the burned samples in comparison with samples without additive.

Conclusions: The deposit possesses a multifunctional resource for impacting agglomeration and formation of ceramics structure. The basis of applying the deposit in loam-based materials is physical and chemical affinity of their structure and properties based on their colloidal and chemical origin in nature. The rational maintenance of the additive in furnace charge amounts to 15 % on weight. The organic and mineral nature and energy potential of water purification deposit as well as a high degree of its technological readiness (doesn't demand grinding) allow saving due to reduction of requirement for external thermal energy.

Key words:

Construction ceramics, water purification deposit, quartz, clay particles, porous structure.

REFERENCES

1. Lyubarskiy V.M. *Osadki prirodnykh vod i metody ikh obrabotki* [Precipitation of natural waters and methods of their processing]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 340 p.
2. Zapolskiy A.K. Ochistka gorodskikh stochnykh vod osnovnym sulfatom alyuminiya [Purification of city sewage by the principle aluminum sulfate]. *Khimiya i tekhnologiya vody*, 1987, vol. 9, no. 2, pp. 35–37.
3. Yakovlev S.V., Ganin B.A., Matrosov A.D., Kolchugin B.M. *Sovmestnaya obrabotka osadkov stochnykh vod i osadkov, obrazuyushchikhsya na vodoprovodnykh stantsiyakh* [Joint purification of city sewage and precipitations formed at waterworks]. Moscow, Stroyizdat publ., 1990. 380 p.
4. Golubovskaya E.K. *Biologicheskie osnovy ochistki vody* [Biological bases of water purification]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1978. 247 p.
5. Lyapunov I.N. *Osnovy khimii i mikrobiologii prirodnykh i stochnykh vod* [Fundamentals of chemistry and microbiology of natural and sewage waters]. Ekaterinburg, Uralskaya gos. les.-tekh. Akademiya Press, 1995. 212 p.
6. Bowen P.T., Hendrick J.E., Woodward Th.A., Mitchel L.S., Lahlou M.P. Sludge treatment, utilization, and disposal. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 1989, no. 6, pp. 43–55.
7. Zhurba M.G., Chernyshov A.V., Govorova Zh.M. *Obrabotka promyennykh vod filtrov i osadkov vodoprovodnykh stantsiy* [Processing of filter washing waters and rainfall of waterworks]. Moscow, Astrel Publ., 2003. 410 p.
8. Shkatulov A.P. *Massa dlya izgotovleniya stroitelnykh materialov* [Weight for producing construction materials]. Patent RF, no. 1834876 SSSR, MPK C 04 B 33/00, 1993.
9. Shepelev P.V. *Syrevaya smes dlya prigotovleniya keramicheskikh izdeliy i sposob ee polucheniya* [Raw mix for preparing pottery and a way of its obtaining]. Patent RF, no. 2005109, MPK C 04 B 33/00, 33/02, 1993.
10. Shepelev P.V. *Smes dlya izgotovleniya keramicheskikh izdeliy* [Mix for producing pottery]. Patent RF, no. 2005110, MPK C 04 B 33/02, 1993.
11. Dolgarev A.V. *Vtorichnye syrevye resursy v proizvodstve stroitelnykh materialov* [Secondary raw material resources in manufacturing construction materials]. Moscow, Khimiya Publ., 1990. 456 p.
12. Raevich B.M., Okladnikov V.P., Lygach V.N. *Kompleksnoe ispolzovanie syrya i otkhodov* [Complex use of raw materials and waste]. Moscow, Khimiya Publ., 1988. 288 p.
13. Bozhenov P.I. *Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syrya i ekologiya* [Complex use of mineral raw materials and ecology]. Moscow, Assotsyatsii stroitelnykh vuzov Press, 1994. 266 p.
14. Belyaev A.N., Shcherbakova E.V. *Innovatsionnye tekhnologii utilizatsii otkhodov* [Innovative technologies of recycling]. *Stroyprofil*, 2010, no. 2/1, pp. 36–37.
15. Pavlov V.F. *Fiziko-khimicheskie osnovy obzhiga izdeliy stroitelnoy keramiki* [Physical and chemical bases of roasting the products of construction ceramics]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977. 240 p.
16. Shakhov S.A., Rudaya T.L., Kozhemyachenko A.S. *Izuchenie vozmozhnosti primeneniya osadka vodoochistki pri proizvodstve stroitelnoy keramiki* [Studying the possibility of applying water purification deposit when producing construction ceramics]. *Izvestiya Vuzov. Stroitelstvo*, 2013, no. 1, pp. 54–61.
17. Vereshchagin V.I., Buruchenko A.E., Kashchuk I.V. *Vozmozhnosti ispolzovaniya vtorichnogo syrya dlya polucheniya stroitelnoy keramiki i sitallov* [Opportunity of applying secondary raw materials for obtaining construction ceramics and glass-ceramics]. *Stroitelnye materialy*, 2000, no. 7, pp. 20–22.
18. Toropov N.A., Barzakovskiy V.P., Kurtseva N.N. *Diagrammy sostoyaniya silikatnykh sistem. Troynnye sistemy: Spravochnik* [Charts of silicate system condition. Threefold systems: Reference book]. Leningrad, Nauka Publ., 1972. Iss. 3, 447 p.
19. Chakraborty A.K. Study of phase transformation of Al_2O_3 - SiO_2 gel and kaolinitic clay. *Trans. Indian. Ceram. Soc.*, 1978, vol. 37, pp. 197–200.
20. Guzman I.Ya. *Nekotorye printsypy obrazovaniya poristykh keramicheskikh struktur, svoystva i primenenie* [Some principles of formation of porous ceramic structures, properties and application]. *Steklo i keramika*, 2003, no. 9, pp. 28–31.

Received: 27 June 2014.