

УДК 669.054.82, 691-405.8

ШЛАКИ ОТ СЖИГАНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ – ЭФФЕКТИВНАЯ КОРРЕКТИРУЮЩАЯ ДОБАВКА В КЕРАМЗИТОВЫЕ МАССЫ

**Шиманский А.Ф., Власов О.А., Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г.,
Васильева М.Н., Симонова Н.С.**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: kmp198@inbox.ru

Настоящая статья посвящена исследованию процессов получения керамзитового гравия с корректирующими добавками, полученными от термической переработки твердых бытовых отходов. Для получения керамзита с низкой насыпной плотностью при использовании низкосортного глинистого сырья необходимо применять добавки, интенсифицирующие процесс вспучивания. Перспективным выбрано направление использования продуктов термической переработки твердых бытовых отходов в качестве корректирующей добавки керамзитовых масс. Химический состав глинистых пород с подшихтовкой шлаками от сжигания ТБО обуславливает образование пиропластической массы при обжиге с оптимальной для порообразования вязкостью в пределах широкого интервала температур (50–200 °С). Выявлена возможность интенсификации процесса вспучивания низкосортного глинистого сырья за счет использования комплексной корректирующей добавки в виде мазута и шлаков от сжигания твердых бытовых отходов в сочетании с приемом опудривания гранул на стадии вспучивания огнеупорными техногенными продуктами и получения керамзитового гравия с маркой по плотности не ниже 450.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, плавка в жидкой ванне, керамзит, опудривающая добавка, шлак, насыпная плотность, прочность гранул на раскол

SLAG FROM MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION – EFFECTIVE CORRECTIVE ADDITIVE IN EXPANDED CLAY MASS

**Shimanskiy A.F., Vlasov O.A., Nikiforova E.M., Eromasov R.G.,
Vasileva M.N., Simonova N.S.**

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: kmp198@inbox.ru

The real article is sanctified to research processes of expanded clay gravel with corrective additives derived from the thermal processing of municipal solid waste. For expanded clay with a low bulk density when using low-grade raw clay is necessary to use additives, intensifies the process of swelling. A promising direction is selected using the products of thermal processing of municipal solid waste as a corrective additive of expanded mass. The chemical composition of clay rocks with charge slag from municipal solid waste incineration causes the formation pyroplastic mass during firing with optimal viscosity for pore formation within a wide temperature range (50–200 °C). Revealed the possibility of intensifying the process of swelling clay of low-grade raw materials through the use of a comprehensive corrective additive in the form of heavy fuel oil and waste from the combustion of municipal solid waste in conjunction with the reception dusting granules of step swelling refractory products and man-made produce clay gravel to mark a density of not less than 450.

Keywords: municipal solid waste, melting in a liquid bath, expanded clay, dusting agent, slag, bulk density, durability of granules to split

На некоторых керамзитовых предприятиях страны с течением времени иссякают ресурсы местных вспучивающихся глин, что требует добычи и транспортировки сырья из отдаленных месторождений при безусловном увеличении себестоимости керамзита. В подотрасли керамзитового гравия для получения качественной продукции с насыпной плотностью 400–450 кг/м³ при использовании низкосортного глинистого сырья большинство предприятий вынуждены применять добавки, интенсифицирующие процесс вспучивания. Решение проблемы может быть достигнуто путем использования в качестве корректирующей добавки техногенных продуктов от сжигания твердых бытовых отходов (ТБО). Несмотря на развитие способов утилизации ТБО, количество муниципальных отходов, вывозимых на свал-

ки, только возрастает, что свидетельствует о недостаточной эффективности и доступности существующих способов переработки бытовых отходов и необходимости поиска новых решений [3]. Стоит отметить сложный состав муниципальных отходов, его непостоянство и зависимость от различных параметров: времени года, экономических и демографических показателей региона, географического положения и т.п. В связи с этим особое развитие получает направление термической переработки отходов с получением энергопродуктов: тепла и электроэнергии без предварительной сортировки отходов потребления. Основными преимуществами, которые определили термическую переработку отходов как наиболее эффективный процесс их уничтожения, являются: снижение объемов в 3–10 раз,

эффективное обезвреживание, а также возможность получения тепла и электроэнергии.

Промышленный опыт переработки ТБО термическими методами свидетельствует, что медленный нагрев и низкотемпературный режим сжигания отходов при температуре 600–900 °С при недостатке кислорода способствует интенсивному образованию диоксинов и несвязанного оксида кальция, который снижает стойкость материала при наличии влаги. Во многих случаях это связано с конструктивными решениями используемых устройств, в результате чего невозможно достичь температур плавления материалов, получаемых при переработке.

Высокотемпературный режим обработки отходов (до 1250–1400 °С), окислительная среда позволяют полностью разрушить диоксины и полиароматические углеводороды, а также исключить их повторное образование, что облегчает очистку отходящих газов при сжигании ТБО и снижает затраты на использование дорогостоящих газоочистных фильтров, а также приводит к связыванию оксида кальция [4, 5].

Материалы и методы исследований

Фазовый состав шлака определяли рентгенофазовым анализом на дифрактометре фирмы Shimadzu XRD-6000. Температура плавления определена на термоанализаторе Simultaneous DSC-TGA Q Series TM (SDT Q 600). Элементный состав шлака определяли рентгеноспектральным анализом на спектрометре Lab Center XRF-1800 Shimadzu (Japan).

ботки ТБО в печах со шлаковым расплавом была разработана после успешных испытаний, проведенных в печах ПЖВ.

Сущность технологии состоит в газификации-плавке ТБО совместно с углем в ванне огненножидкого шлака, продуваемого кислородсодержащим газом. Шлак выполняет роль как теплопередающей среды, так и растворяющей в себе неорганические соединения, содержащиеся в ТБО и углях. Отходящие из зоны плавки газификации газы дожигаются в топке и парогенераторе. Высокая ванна расплава позволяет иметь значительные запасы тепла в печи, что наряду с интенсивным перемешиванием обеспечивает большие скорости сжигания и плавления. Печь выполнена из наборных медных кессонов, охлаждаемых химически очищенной водой. Отходы грузятся на поверхность расплава. Вследствие снижения плотности расплава в 1,5–2 раза из-за насыщения его пузырьками газа и барботажа отходы погружаются в толщу расплава, который имеет высокую температуру. Негорючая часть плавится и растворяется в шлаке, тяжелые черные и цветные металлы образуют сплав, оседающий на подине печи.

При содержании влаги менее 25 % и горючей части, обеспечивающей теплотворную способность топлива 1500 ккал/кг, процесс идет автогенно.

В табл. 1 приведен химический состав плавленного шлака, полученного от сжигания ТБО.

Таблица 1

Химический состав шлака от сжигания ТБО, мас. %

Наименование сырья	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Прочие
Шлаки от сжигания ТБО	51,74	20,83	10,06	1,01	1,88	1,53	1,52	2,43	9

Результаты исследований и их обсуждение

В работе рассмотрена возможность использования плавленных шлаков от сжигания ТБО в качестве корректирующего компонента при производстве керамзитового гравия.

Перспективным направлением высокотемпературного сжигания ТБО является использование печей для плавки в жидкой ванне (ПЖВ) [5] в связи с их надежностью, возможностью создания в них высоких температур до 1800 °С за счет обогащения (дутья) кислородом, низким пылевыносом, непрерывным ведением процесса, раздельным выпуском металла и шлака, высокой производительностью. Технология перера-

Основными фазами шлака, близкого по минералогическому составу к доменным шлакам, являются CaSiO₃ и Ca₂MgSi₂O₇. Температура плавления шлака соответствует 1210 °С.

Объектом исследования выбрана легкоплавкая глина Сушиновского месторождения, расположенного в непосредственной близости от г. Уяра Красноярского края. При выборе корректирующей процесс вспучивания добавки в виде шлаков ТБО учитывались процессы, происходящие в глинистом сырье при их термообработке. Легкоплавкие глинистые породы в условиях ускоренной термической обработки вспучиваются за счет давления изнутри газообразных продуктов, выделяющихся в обжигаемой

глинистой массе, образуя стекловидный материал с ячеистой структурой. Химический состав глинистых пород с подшихтовкой шлаками от сжигания ТБО обуславливает образование пиропластической массы при обжиге с оптимальной для порообразования вязкостью в пределах широкого интервала температур (50–200 °С). Химический состав глинистого сырья приведен в табл. 2.

– корректировка состава глины добавочными материалами, обеспечивающими многофакторное воздействие на физико-химические процессы при термообработке,
– введение комплексной добавки мазута и шлаков от сжигания ТБО, так и использование приема опудривания керамзитовых гранул огнеупорным порошком с целью расширения интервала вспучивания сырья [1, 6].

Таблица 2

Химический состав глинистого сырья и опудривающего компонента, мас. %

Наименование сырья	Содержание оксидов									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	органика
Глина сушиновская	60,97	13,18	6,41	0,99	3,58	2,42	0,64	2,22	1,48	0,25
Нефелиновый шлам	29,30	3,44	3,79	–	54,88	1,30	0,33	0,72	1,58	–

Анализ химического состава сырья свидетельствует, что сушиновская глина относится к классу средневспучивающегося глинистого сырья, из которой в лабораторных условиях можно получать керамзит с кажущейся плотностью 0,5–0,8 г/см³, коэффициентом вспучивания 2–4,5, а в производственных – с насыпной плотностью 350–550 кг/м³, плотностью в куске 600–850 кг/м³, фактическим коэффициентом вспучивания зерен 3–2. Соотношение оксидов кремния и алюминия свидетельствует о недостаточном содержании глинозема в сырье и предопределяет его размягчение при более низких температурах, чем выделение газообразных продуктов, способных провести работу расширения глинистой массы [7].

Исходя из анализа состава сушиновской глины выбрано комплексное направление интенсификации процесса вспучивания:

Исследование процессов вспучивания проведено в соответствии с методикой [2].

Анализ данных рис. 1 свидетельствует об оптимальной температуре термодготовки сушиновской глины в 200 °С, обеспечивающей при прочих равных условиях максимальный коэффициент вспучивания (рис. 1). Повышение температуры выше оптимальной приводит, с одной стороны, к выгоранию имеющихся в глине органических примесей и частичной дегидратации, что отрицательно сказывается на количестве газов, обеспечивающих вспучивание, и, с другой стороны, приводит к уплотнению и трещинообразованию наружной поверхности образцов.

Установлена оптимальная температура обжига глины без добавок, соответствующая 1200 °С, интервал вспучивания составляет 60 градусов.

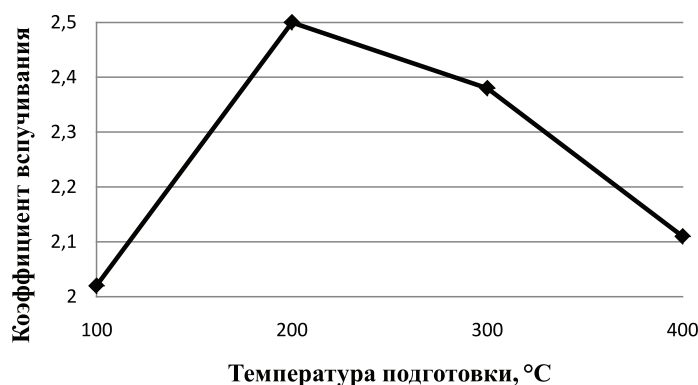


Рис. 1. Влияние температуры подготовки на коэффициент вспучивания глины Сушиновского месторождения

Исследованы составы керамзитовых масс, содержащих 1 мас. % мазута и 10 мас. % шлака от сжигания ТБО. В соответствии с рекомендациями [7], добавка мазута компенсирует недостаток органического компонента в глинистом сырье. Выбор шлаков от сжигания ТБО в количестве 10 мас. % основан на необходимости ускоренного накопления в керамзитовых массах жидкой фазы при обжиге, опережающего активное газообразование при вводе шлаков от сжигания ТБО.

Результаты, представленные на рис. 2, свидетельствуют, что введение 1 мас. % мазута снижает плотность керамзита в куске с 0,9 до 0,63 г/см³, что существенно ниже плотности гранул на основе глины без добавок (кривая 1). Введение в состав керамзитовых масс дополнительно к мазуту шлаков от высокотемпературного сгорания бытовых отходов существен-

но усиливает эффект понижения плотности керамзита в куске до 0,53 г/см³.

В лабораторных условиях проведена оценка обожженных гранул на прочность при расколе (рис. 3). Добавка мазута в комплексе со шлаками от сжигания ТБО приводит к незначительному понижению прочности на раскол до 0,9 МПа при сохранении эффекта существенного понижения плотности гранул в куске.

Опудривание гранул признано целесообразным для локализации очагов оплавления на поверхности зерен керамзита при обжиге, что предотвращает межзерновое агрегирование и обеспечивает возможность ведения обжига при более высоких температурах, что, безусловно, повышает вспучиваемость исходного сырья. В качестве опудривающей добавки исследован нефелиновый шлам Ачинского глиноземного комбината. Химический состав шлама приведен в табл. 2.

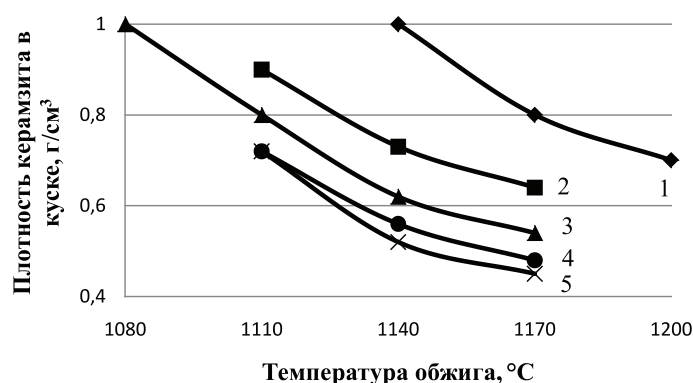


Рис. 2. Зависимость плотности керамзитового гравия от концентрации корректирующей добавки и температуры обжига:
1 – глина без добавок; 2 – глина 99,5 + 0,5 мас. % мазута; 3 – глина 99 + 1 мас. % мазута;
4 – глина 89 + 1 мас. % мазута + 10 мас. % шлака;
5 – гранулы состава 3, опудренные нефелиновым шлаком

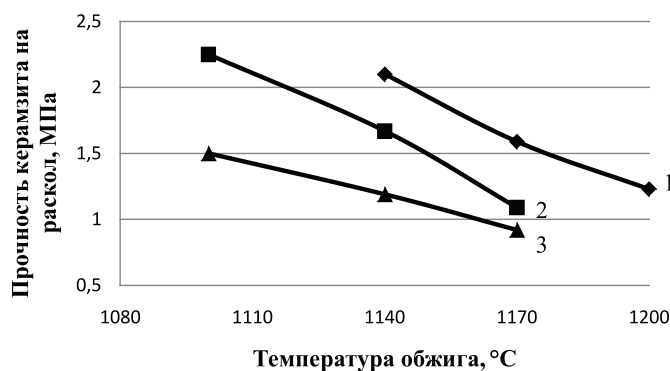


Рис. 3. Зависимость прочности керамзитового гравия от концентрации корректирующей добавки и температуры обжига:
1 – глина без добавок; 2 – глина 89 мас. % + 1 мас. % мазута + 10 мас. % шлака;
3 – гранулы состава 2, опудренные нефелиновым шлаком

В основу выбора нефелинового шлама как опудривателя гранул керамзита положены представления о механизме его взаимодействия с поверхностью гранул при термообработке. Немолотый нефелиновый шлам относится к добавкам, активно взаимодействующим с расплавом поверхностного слоя гранул с частичной его кристаллизацией, способствующей упрочнению корки гранул. Грубодисперсная масса опудривателя (более 0,1 мм) предотвращает слипание гранул между собой. Количество опудривателя находится в пределах 3–5 мас. %.

Опудривание сырцовых гранул нефелиновым шламом приводит к дополнительному снижению плотности керамзита в куске (кривая 5, рис. 2). Образцы на основе сушиновской глины, опудренные нефелиновым шламом, характеризуются плотностью 0,46 г/см³.

Разработаны предложения по модернизации типовой технологической схемы производства керамзитового гравия [1, 6]. Технологическая схема введения опудривающей добавки представлена на рис. 4. Добавка подается в самовыгружающийся бункер – кубель, который с помощью автопогрузчика устанавливается над загрузочной точкой 2 и поступает в элеватор 3, приводящийся в движение от вращения печи контрприводом 4. Элеватор подает добавку в расходный бункер 5, смонтированный в зоне всучивания вращающейся печи 7. В корпус обжиговой печи вмонтированы два дозатора-питателя 6, снабженные устройством регулирования объема дозирования.

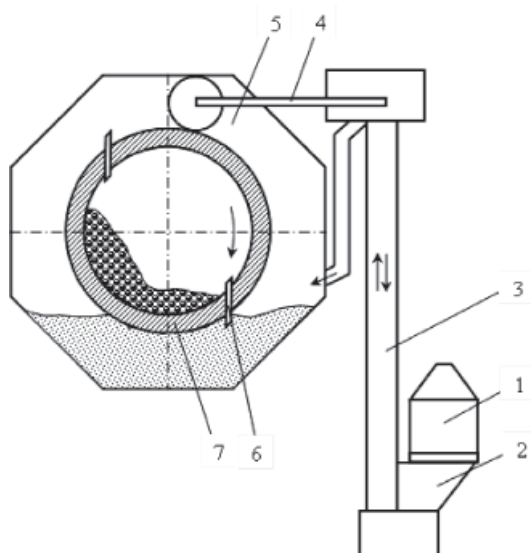


Рис. 4. Технологическая схема введения опудривающей добавки

Переработку массы рекомендуется осуществлять в глиномешалке, например СМ-1238, формование полуфабриката на

формовочных вальцах СМ-369А, обжиг – в однобарабанных вращающихся печах.

Заключение

Выполненный комплекс исследований выявил возможность интенсификации процесса всучивания низкосортного глинистого сырья за счет использования комплексной корректирующей добавки в виде мазута и шлаков от сжигания твердых бытовых отходов в сочетании с приемом опудривания гранул на стадии всучивания огнеупорными техногенными продуктами и получения керамзитового гравия с маркой по плотности не ниже 450.

Список литературы

1. Еромасов Р.Г. Эффективные опудривающие добавки – отходы промышленности в технологии пористых заполнителей / Р.Г. Еромасов, Э.М. Никифорова, Т.В. Ступко, М.Н. Васильева, Н.С. Симонова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: www.science-education.ru/125-19943.
2. Книгина Г.И. Лабораторные работы по технологии строительной керамики и искусственных пористых заполнителей / Г.И. Книгина, Э.Н. Вершинина, Л.Н. Тацки – М.: Высшая школа, 1985. – 196 с.
3. Мечев В.В. Термическая переработка углей, бытовых и промышленных отходов с получением электроэнергии и товарных продуктов / В.В. Мечев, О.А. Власов, П.В. Мечев; под ред. заслуженного деятеля науки и техники РСФСР проф. д-р техн. наук В.В. Мечева – М.: Буки Веди, 2012. – 346 с.
4. Мечев В.В. Реконструкция ТЭЦ, ТЭС и ГРЭС для переработки ТБО / В.В. Мечев, О.А. Власов // ТБО. – 2013. – № 4. – С. 27–30.
5. Мечев В.В. Переработка ТБО в печах со шлаковым расплавом / В.В. Мечев, О.А. Власов // ТБО. – 2014. – № 2. – С. 20–25.
6. Никифорова, Э.М. Утилизация шламов мокрой магнитной сепарации железных руд в производстве керамзита / Э.М. Никифорова, Р.Г. Еромасов, О.А. Власов, М.Н. Васильева, Н.С. Симонова // Обогащение руд. – 2015. – № 1. – С. 43–46.
7. Онацкий С.П. Производство керамзита. – М.: Стройиздат, 1987. – 337 с.

References

1. Yeromarov R.G. Effektivnyye opudrivayushchiye dobavki otkhody promyshlennosti v tekhnologii poristykh zapolniteley / R.G. Yeromarov, E.M. Nikiforova, T.V. Stupko, M.N. Vasilyeva, N.S. Simonova // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. no. 1; URL: www.science-education.ru/125-19943.
2. Knigina G.I. Laboratornyye raboty po tekhnologii stroitelnoy keramiki i iskusstvennykh poristykh zapolniteley / G.I. Knigina, E.N. Verшинina, L.N. Tatski M.: Vysshaya shkola, 1985. 196 p.
3. Mechev V.V. Termicheskaya pererabotka ugley, bytovykh i promyshlennykh otkhodov s polucheniym elektroenergii i tovarnykh produktov / V.V. Mechev, O.A. Vlasov, P.V. Mechev; Pod red. zaslužennogo deyatelya nauki i tekhniki RSFSR prof. d-r. tekhn.nauk V.V. Mecheva M.: Buki Vedi, 2012. 346 p.
4. Mechev V.V. Rekonstruktsiya TETS, TES i GRES dlya pererabotki TBO / V.V. Mechev, O.A. Vlasov // TBO. 2013. no. 4. pp. 27–30.
5. Mechev V.V. Pererabotka TBO v pechakh so shlakovym rasplavom / V.V. Mechev, O.A. Vlasov // TBO. 2014. no. 2. pp. 20–25.
6. Nikiforova, E.M. Utilizatsiya shlamov mokroy magnitnoy separatsii zheleznykh rud v proizvodstve keramzita / E.M. Nikiforova, R.G. Yeromarov, O.A. Vlasov, M.N. Vasilyeva, N.S. Simonova // Obogashcheniye rud. 2015. no. 1. pp. 43–46.
7. Onatskiy, S. P. Proizvodstvo keramzita. M.: Stroyizdat, 1987. 337 p.