

УДК 504.064.45

А.А. Кетов, Н.И. Фукалова

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИКАТНЫХ СВЯЗОК ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

Рассмотрена проблема обращения свинцовосодержащих отходов, влияние их на окружающую среду. Экспериментальным путем определены технологические параметры изготовления силикатных связок с наибольшей прочностью на сжатие, которые будут связующим для нового строительного материала на основе свинцовосодержащего стеклобоя.

Ключевые слова: отходы электрического и электронного оборудования, воздействие свинца, технологические параметры, новый строительный материал, утилизация свинцовосодержащего стеклобоя.

В связи с постоянным увеличением потребляемой продукции, неизбежно возрастает количество твердых бытовых отходов (ТБО), складываемых на полигонах. Это приводит к тому, что обостряется проблема утилизации бытовых и промышленных отходов.

ТБО, образуемые в результате жизнедеятельности людей, представляют собой гетерогенную смесь сложного морфологического состава (черные и цветные металлы, макулатуросодержащие и текстильные компоненты, стеклобой, пластмасса, пищевые отходы, камни, кости, кожа, резина, дерево, отходы электрического и электронного оборудования (ЭЭО), уличный смет и пр.). ЭЭО являются одной из наиболее опасных групп в составе бытовых отходов.

Электробытовые отходы – это все многообразие приборов, потребляющих электроэнергию для обеспечения нормального функционирования, которые достигли конца своего жизненного цикла [1].

В современном мире невозможно представить жизнь человека без бытовой или офисной техники, а производство без ав-

томатизированного технологического оборудования. Ежегодно в мире продаются миллионы единиц ЭЭО, и объемы продаж постоянно растут. В европейских странах доля отходов ЭЭО составляет 4–6 % в потоке ТБО и прогнозы говорят об увеличении объема данного вида отходов. Их захоронение ведет к загрязнению окружающей среды тяжелыми металлами (ртуть, мышьяк, свинец, кадмий, хром и другие) и галогенизированными органическими соединениями (ХФУ, ПХБ, ПВХ, хлорпарафины, октодекабифенилы). Например, основной составляющей старых телевизоров и мониторов персональных компьютеров является электронно-лучевая трубка (или кинескоп), которая содержит большое количество свинца. При захоронении на полигоне свинец под воздействием внешних факторов вымывается из стекла и, попадая в грунтовые воды, наносит вред окружающей среде и здоровью человека.

Свинец по своему воздействию на организм человека относится к веществам 1-го класса опасности. Биологический период полураспада свинца в костях – около 10 лет. Количество свинца, накопленного в костях, с возрастом увеличивается и к 30–40 годам (фаза насыщения) у лиц по роду занятий, не связанных с опасностью загрязнения организма свинцом, составляет 80–200 мг. Свинец влияет на нервную систему человека, что приводит к снижению интеллекта, вызывает изменение физической активности, координации слуха, воздействует на сердечно-сосудистую систему. Это оказывает негативное влияние на состояние здоровья населения и в первую очередь детей, которые наиболее восприимчивы к свинцовым отравлениям. Свинец активно влияет на синтез белка, энергетический баланс клетки и ее генетический аппарат. Многие факты говорят в пользу денатурационного механизма действия. Свинец нарушает синтез порфиринов и гема, угнетая ряд ферментов, участвующих в обмене порфиринов. Свинец подавляет также активность SH-содержащих ферментов, холинэстеразы в мембранах эритроцитов. Свинец вызывает заметное отклонение в липоидном обмене: повышается содержание общего и не связанного с белками холестерина. Считают, что свинец предрасполагает к развитию атеросклероза [2].

Свинец негативно воздействует на растения [3, 4], животных [5] и микроорганизмы. Во всех исследованиях показано, что свинец оказывает неблагоприятное воздействие на ряд органов и систем животных, включая систему кровообращения, центральную нервную систему, почки, репродуктивную систему и иммунную систему. Свинец биоаккумулируется в организме млекопитающих, в водорослях и в организме беспозвоночных.

В связи с вышеперечисленным, вопросы эффективного использования свинецсодержащего стекла, как сырьевого материала, должны занимать ведущее место в формировании стратегической политики переработки ТБО.

Технологии переработки металлов, пластика и электронных компонентов широко используются, в то время как вторичное применение стекла электронно-лучевых трубок (ЭЛТ) остается нерешенной проблемой. В Западной Европе около 99 % этого материала после демонтажа идет на захоронение.

Различают два вида кинескопных трубок:

1) монохромные или одноцветные (черно-белые) – состоят из однородного сорта стекла, содержащего свинец; внутренняя сторона кинескопной трубки равномерно покрыта люминофором;

2) цветные – представляют собой более сложные соединения, чем монохромные.

Существуют несколько способов переработки ЭЛТ, но все они имеют большое количество недостатков. Отрицательным моментом всех способов переработки является зависимость технических характеристик от состава стекла. К тому же вторичная переработка ЭЛТ перечисленными методами экономически не эффективна.

Переработанное стекло может быть использовано в качестве подстилающей основы для дорог, а также для дорожного покрытия (стекло-асфальт). Использование кусочков стекла вместо щебня обусловлено схожей или даже меньшей стоимостью, дополнительной видимостью ночью, более низкой объемной плотностью. Но стекло может быть высвобождено с поверхности, а частичками стекла можно порезаться и вызвать повреждение шин, к тому же увеличенный блеск поверхности ослабляет видимость в дневное время.

Наиболее перспективным направлением использования стеклобоя является рассмотрение его не как добавки или балласта к существующим материалам, а как самостоятельного вида сырья, например, в качестве компонента для создания нового строительного материала [6, 7].

К строительным материалам предъявляется огромное количество различных требований: энергосбережение, негорючесть, прочность и др.

Цель работы – экспериментальное определение технологических параметров изготовления силикатных связок с наибольшей прочностью на сжатие, которые будут связующим для нового строительного материала на основе свинцовосо-державшего стеклобоя.

Для достижения данной цели были поставлены задачи определения:

- оптимального состава образца;
- оптимальной температуры обжига;
- прочности на сжатие.

Для получения образцов последовательно смешивались песок, трепел и разбавленная водой щелочь (масса щелочи составляла 20 % от массы трепела), после чего смесь спрессовалась под нагрузкой 250 кг.

При постоянной массе песка, трепела и щелочи, определялась оптимальная масса воды, соответствующая полному растворению щелочи и характеризующаяся образованием нетекучей и непересушенной смеси. Причем образцы, изготовленные из этой смеси, не должны рассыпаться при прессовании. Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Состав образцов (г) для определения
оптимальной массы воды**

Номер образца	Песок	Трепел	Щелочь	Вода
0	10	4	0,8	1,5
1	10	4	0,8	1,75
2	10	4	0,8	2,0
3	10	4	0,8	2,25
4	10	4	0,8	2,5

Наилучший результат показал образец с массой воды 2 г.

Определение оптимальной массы трепела и щелочи, которое характеризуется получением хорошо прессуемых и не рассыпающихся при прессовании образцов, проводилось при постоянной массе песка и воды. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Состав образцов (г) для определения
оптимальной массы трепела (щелочи)**

Номер образца	Песок	Вода	Трепел	Щелочь
1	10	2	1,5	0,3
2	10	2	2,0	0,4
3	10	2	2,5	0,5
4	10	2	3,0	0,6
5	10	2	3,5	0,7
6	10	2	4,0	0,8
7	10	2	4,5	0,9
8	10	2	5,0	1,0

Наилучший результат показал образец № 4, а его состав был принят за оптимальный.

Исследование влияния температуры обжига силикатных связей на прочность при одноосном сжатии проводилось на образцах с принятым оптимальным массовым составом в диапазоне температур от 500 до 700 °С. Результаты эксперимента представлены в табл. 3. Зависимость прочности на сжатие от температуры обжига отображена на рис. 1.

Таблица 3

**Состав образцов для определения
оптимальной температуры обжига**

Номер образца	Состав образца, г				Температура, °С	Прочность на сжатие	
	Песок	Вода	Трепел	Щелочь		кН	МПа
1	10	2	3	0,6	500	0,571	1,19
2	10	2	3	0,6	550	0,805	2,57
3	10	2	3	0,6	600	0,41	1,31
4	10	2	3	0,6	650	1,057	3,37
5	10	2	3	0,6	700	1,491	4,75

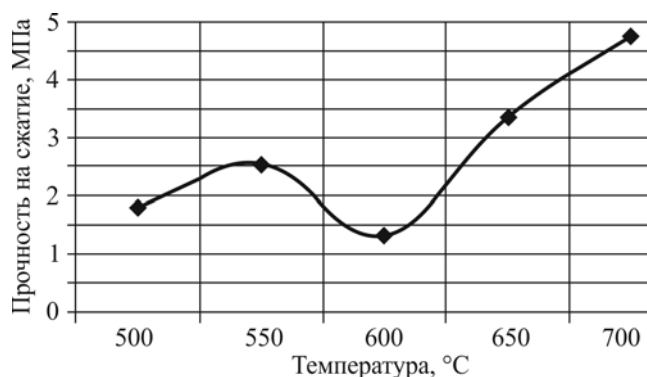


Рис. 1. Зависимость прочности на сжатие от температуры обжига

Как видно на рис. 1, наибольшей прочностью на сжатие обладает образец, обожженный при температуре 700 °C.

Проведенная серия экспериментов для образцов с постоянной массой песка, обожженных при температуре 700 °C, позволила уточнить оптимальное количество воды, трепела и щелочи. Результаты экспериментов представлены в табл. 4, 5. Зависимости прочности образцов на сжатие при различных массовых долях воды, трепела и щелочи в исходной смеси показаны на рис. 2, 3.

Таблица 4

Зависимость прочности на сжатие от массы воды

Номер образца	Состав образца, г				Температура, °C	Прочность на сжатие	
	Песок	Вода	Трепел	Щелочь		кН	МПа
1	10	1,5	4	0,8	700	0,686	2,18
2	10	1,75	4	0,8	700	0,374	1,19
3	10	2,0	4	0,8	700	0,737	2,35
4	10	2,25	4	0,8	700	1,357	4,32
5	10	2,5	4	0,8	700	1,892	6,03

Таблица 5

Зависимость прочности на сжатие от массы трепела и щелочи

Номер образца	Состав образца, г				Температура, °C	Прочность на сжатие	
	Песок	Вода	Трепел	Щелочь		кН	МПа
1	10	2	1,5	0,3	700	0,087	0,28
2	10	2	2,0	0,4	700	0,277	0,88

Окончание табл. 5

Номер образца	Состав образца, г				Температура, °С	Прочность на сжатие	
	Песок	Вода	Трепел	Щелочь		кН	МПа
3	10	2	2,5	0,5	700	0,359	1,14
4	10	2	3,0	0,6	700	1,491	4,75
5	10	2	4,0	0,8	700	0,737	2,35
6	10	2	4,5	0,9	700	0,809	2,58
7	10	2	5,0	1,0	700	1,015	3,23
8	10	2	5,5	1,1	700	0,718	2,29
9	10	2	6,0	1,2	700	1,309	4,17

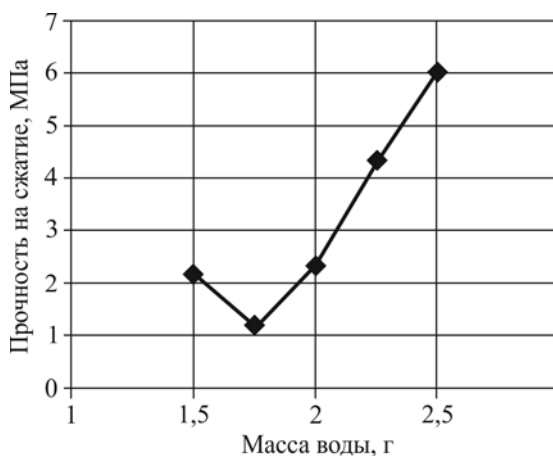


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие от количества воды

Как видно на рис. 2, наибольшей прочностью на сжатие обладает образец с содержанием воды 2,5 г, т.е. масса воды была выбрана ошибочно.

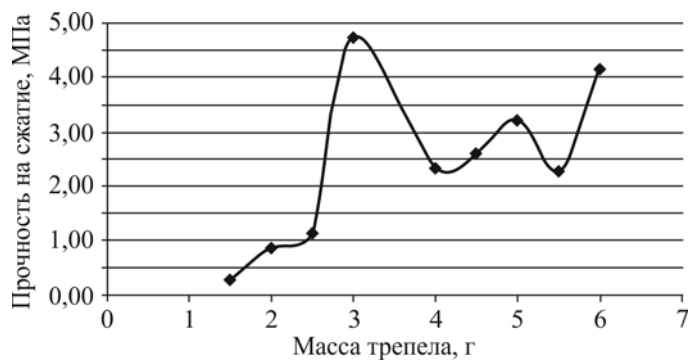


Рис. 3. Зависимость прочности на сжатие от массы трепела

Как видно на рис. 3, наибольшей прочностью на сжатие обладает образец, с содержанием трепела 3 г (щелочи 0,6 г), т.е. концентрация трепела и щелочи была выбрана правильно

В результате проведенной серии экспериментальных работ получен оптимальный состав смеси и температура обжига, обеспечивающие получение силикатных связей с наибольшей прочностью на сжатие, которые будут связующим для нового строительного материала на основе свинцовосодержащего стеклобоя.

Эксперименты показали, что прочность силикатных связей на сжатие достигает 6,03 МПа, что сравнимо с прочностью на сжатие керамического и силикатного кирпича, которая колеблется в пределах от 7,5 до 30 МПа согласно ГОСТ 530–2007 «Кирпич и камень керамические» и ГОСТ 379–95 «Кирпич и камни силикатные».

Библиографический список

1. Литвинов О.В. Маркировка товаров в России и за рубежом: Азбука знаков: практ. руководство. – М.: Стандарты и качество, 2003. – 289 с.

2. Вредные вещества в промышленности: справ. для хим., инж. и врачей: в III т. – Изд. 7-е, пер. и доп. – Т. III. Неорганические и элементоорганические соединения / под ред. проф. Н.В. Лазарева, И. Д. Гадаскиной. – Л.: Химия, 1977. – 608 с.

3. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. – Новосибирск: Пролетарский светоч, 1991. – 150 с.

4. Колесникова Т.В. О влиянии свинца на рост и развитие растений // Свинец в окружающей среде. Гигиенические аспекты. – М.: Наука, 1978. – С. 17–21.

5. Грызлова Л.В., Киреева Ю.В., Шубина О.С. Влияние свинца на потомство белых крыс [Электронный ресурс] // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 5. – С. 68. – URL: www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=4201 (дата обращения: 13.01.2013).

6. Пузанов С.И., Кетов А.А. Комплексная переработка стеклобоя в производстве строительных материалов // Экология и промышленность России. – 2009. – № 12. – С. 4–7.

7. Кетов А.А. Нанотехнологии при производстве пено-стеклянных материалов нового поколения // Нанотехнологии в строительстве: науч. интернет-журнал. – 2009. – № 2. – С. 15–23. – URL: www.nanobuild.ru (дата обращения: 13.01.2013).

References

1. Litvinov O.V. Markirovka tovarov v Rossii i za rubezhom: Azbuka znakov: prakt. rukovodstvo [Marking of goods in Russia and abroad: the ABC of characters: a practical guide], Moscow: Standarty i kachestvo, 2003. 289 p.

2. Vrednye veshhestva v promyshlennosti. Spravochnik dlja khimikov, inzhenerov i vrachej: v III vol. Izd. 7-e, per. i dop. Vol III. Neorganicheskie i jelementorganicheskie soedinenija [Harmful substances in industry. Handbook for chemists, engineers, and doctors. Ed. 7th, trans. and add. In three volumes. Vol. III. Inorganic and elementorganic connection]. Pod red. N.V. Lazareva i I.D. Gadaskinoj. Leningrad: Khimija, 1977. 608 p.

3. Il'in V.B. Tjzhelye metally v sisteme pochva–rastenie [Heavy metals in soil-plant system]. Novosibirsk: Proletarskij svetoch, 1991. 150 p.

4. Kolesnikova T.V. O vlijanii svinca na rost i razvitie rastenij [The effect of lead on the growth and development of plants], *Svinets v okruzhajuschej srede. Gigienicheskie aspekty*, Moscow: Nauka, 1978, pp. 17–21.

5. Gryzlova L.V., Kireeva Ju.V., Shubina O.S. Vlijanie svinca na potomstvo belykh krysov [The effect of lead on the offspring of white rats], *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2006, no. 5, p. 68, available at: www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=4201 (accessed 13 January 2013).

6. Puzanov S.I., Ketov A.A. Kompleksnaja pererabotka stekloboja v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Complex processing of cullet in the manufacture of building materials], *Jekologija i promyshlennost' Rossii*, 2009, no. 12, pp. 4–7.

7. Ketov A.A. Nanotehnologii pri proizvodstve penostekljannykh materialov novogo pokolenija [Nanotechnologies

in the production of foamglass materials of new generation], *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyj Internet-zhurnal*, 2009, no. 2, 15–23 pp., available at: www.nanobuild.ru (accessed 13 January 2013).

Получено 14.02.2013

A. Ketov, N. Fukalova

RESEARCH OF MECHANICAL PROPERTIES OF SILICATE BINDER DURING THERMAL TREATMENT

The article deals with the problem of waste containing lead, their influence on human health and the environment. By experiment, there were determined the technological parameters of manufacture of a silicate binders with the greatest strength in compression, which will be a binder for the new construction material on the basis of lead-containing waste.

Keywords: waste electrical and electronic equipment (EEE), the effects of lead, technological parameters, new building material, recycling of leaded cullet.

Кетов Александр Анатольевич (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).

Фукалова Наталья Ивановна (Пермь, Россия) – магистр гр. ООС11-м, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).

Ketov Alexander (Perm, Russia) – Doctor of Technics, Professor of Department of environmental protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29).

Fukalova Natalia (Perm, Russia) – graduate student, Department of environmental protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29).