

**С. Е. Баранцева, канд.техн.наук, ст. научн. сотр.**

**И. М. Азаренко, магистрант**

**Ю. А. Климош, канд.техн.наук, доц.**

**Л. И. Хмылко, канд. хим. наук, доц.**

(БГТУ, г. Минск)

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПОРОД И ОТХОДОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Целенаправленное комплексное использование отечественного минерального сырья и техногенных отходов различных производств для получения теплоизоляционных пористых заполнителей является не только экономически оправданным, но и перспективным в плане улучшения экологической ситуации в ряде регионов Республики Беларусь.

При получении гранулированных теплоизоляционных силикатных, обладающих комплексом необходимых эксплуатационных свойств [1], основополагающими факторами являются технологические стадии, обеспечивающие полноту протекания физико-химических процессов и формирования пористой структуры.

Научно-обоснованный подход к решению поставленных задач базируется на рациональном подборе компонентов сырьевых композиций, обеспечении пластичности керамических масс для формирования полуфабриката – сырцовых гранул в соответствующем оборудовании, установлении оптимальных температурно-временных параметров термической обработки, непосредственно связанных с изменениями агрегатного состояния сырьевых компонентов вплоть до пиропластического, позволяющего под воздействием порообразователя и при наличии жидкой фазы обеспечить формирование необходимой пористой структуры.

Комплекс вышеприведенных технологических основ является базисом для получения теплоизоляционных материалов, имеющих эксплуатационные свойства, соответствующие требованиям нормативно-технической документации.

В качестве сырьевых компонентов шихт использовались гранитоидные отсеивы – отходы производства дорожного щебня, разрабатываемого Микашевичского месторождения на горнопромышленном предприятии РУПП «Гранит», количество которых достигает порядка 5 млн.т в год. Усредненный химический состав гранитоидов представлен,

мас. %: SiO<sub>2</sub> 61,64; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14,86; CaO 4,38; MgO 3,32; FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8,94; K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O 2,52; TiO<sub>2</sub> 0,93; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,35; MnO 0,19; п.п.п. 2,87 [2].

В процессе выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах ОАО «Белорусский металлургический завод» (БМЗ) образуются различные отходы, в том числе и пыль газоочистных установок (ПГУ), улавливаемая фильтрами в процессе очистки отходящих газов. Количество техногенных отвальных продуктов достигает 30% от объема выпуска стали, включая шлаки (около 80%) и примерно 20% – пыли и шламы газоочистки. Нами использовалась пыль ПГУ усредненного химического состава, мас.%; SiO<sub>2</sub> 3,12; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,03; CaO 4,85; ZnO 42,24; FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 32,42; K<sub>2</sub>O 2,40; Na<sub>2</sub>O 5,23; Cl 2,63; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,29; SO<sub>3</sub> 1,23 [3].

Известно, что пластичность керамических масс играет главенствующую роль в процессе формования изделий. Для этого в состав сырьевых композиций вводилась добавка легкоплавкой отечественной глины месторождения «Лукомль» (Витебская обл.) состава, мас.%; SiO<sub>2</sub> 55,2; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14,1; CaO 5,6; MgO 3,1; FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7,5; K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O 4,52; п.п.п. 9,0 [4].

В качестве порообразователя применялись отходы карбида кремния, максимальная реакционная способность которого проявляется в условиях воздействия паровоздушной смеси при определенных температурах, совпадающих в нашем случае с формированием жидкой фазы. Поэтому основным критериальным показателем пригодности сырьевых материалов для получения пористых теплоизоляционных материалов является температурный интервал их плавления.

Основой служила ранее разработанная сырьевая композиция состава Г-3 [5], состоящая из гранитоидных пород, глины, небольшого количества связующего (карбоксиметилцеллюлозы) и порообразователя, в которую затем взамен гранитоидов эквивалентно вводилась пыль ПГУ в количестве от 5 до 30 мас.ч. Содержание порообразователя – карбида кремния сохранялось постоянным и не превышало 0,5 мас.%. Экспериментальное исследование числа пластичности сырьевых композиций проводилось для обеспечения возможности последующего формования сырцовых гранул с использованием соответствующего оборудования (дырчатые вальцы, экструдеры, тарельчатые грануляторы и др.).

Число пластичности базовой керамической массы (Г-3) составляет 9,5–10,5, что соответствует умереннопластичным массам. Керамические массы составов, включающих пыль ПГУ, имеют число пластичности 16,3–21,4, что значительно облегчает процесс формования и обеспечивает прочность как отформованных сырцовых, так высушенных гранул.

Сырцовые гранулы изготавливались путем грануляции полученной смеси, затем подлежали термической обработке, обеспечивающей формирование пористой структуры и необходимые физико-

химические характеристики. В отличие от сырьевой композиции Г-3 при подготовке керамических масс, содержащих пыль ПГУ, при формировании полуфабриката (сырцовых гранул), как положительный фактор следует отметить отсутствие необходимости введения связующего компонента, так как необходимые формовочные свойства обеспечиваются, вероятно, за счет высокой дисперсности пыли и глинистого компонента.

Вначале смешивались гранитоидная порода и карбид кремния, затем добавляли глину и пыль газоочистных установок. В сырьевую смесь добавлялось экспериментально определенное количество воды, и подготовленная керамическая масса помещалась в экструдер для формирования сырцовых гранул, размер которых определялся формой и шириной отверстий в профилирующей решетке, устанавливаемой на выходе из экструдера.

Следующей стадией получения гранул является их приведение к определенному размеру и окатывание в грануляторе барабанного типа. Для этого гранулы загружаются в барабан с установленной необходимой частотой вращения. Оптимальная частота вращения барабана 50 об/мин, при которой гранулы вращаются в IV четверти (при вращении против часовой стрелки).

При подборе оптимальных температурно-временных параметров обжига гранул, главной стадией является интервал вспучивания. Его интенсивность обусловлена одновременным переходом керамической массы в пиропластическое состояние (образование жидкой фазы) и интенсивным газообразованием, при этом определяющее значение имеет температура плавления как исходных ингредиентов, так и самих сырьевых композиций. На рис. 1 приведены фрагменты кривых дифференциальной сканирующей калориметрии сырьевых компонентов и композиций керамических масс.

С учетом определенных интервалов плавления высушенные при комнатной температуре сырцовые гранулы обжигались по 4 режимам, которые различались максимальной температурой обжига, составляющей 1180, 1190, 1200 и 1210°C, затем после инерционного охлаждения сортировались по фракциям.

Установлено, что оптимальным температурным интервалом обжига является  $1185 \pm 5^\circ\text{C}$ . Эта температурная экспозиция эффективна для термообработки сырцовых гранул как базового состава (Г-3), так и с добавкой пыли ПГУ (ГП-3, ГП-4).

Визуальная оценка поверхности гранул и характера их пористой структуры приведена на рис. 2 (фотография среза гранулы выполнена при  $\times 2,5$ ).

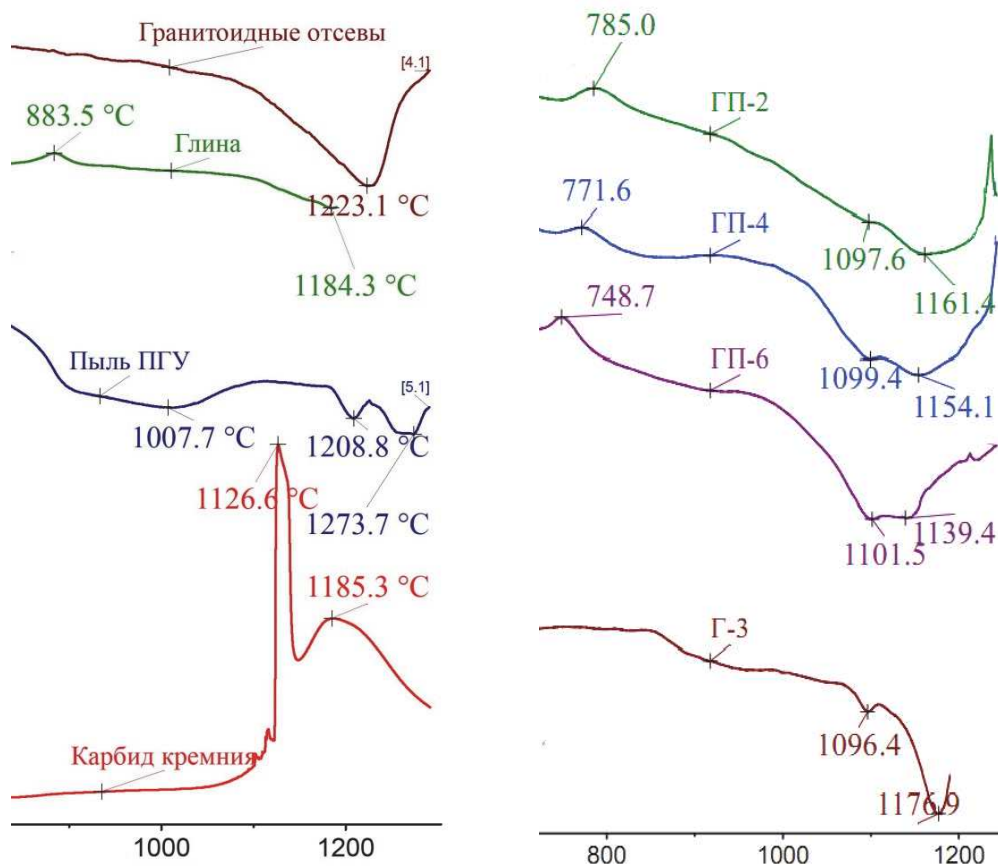


Рисунок 1 – Фрагменты кривых ДСК сырьевых компонентов и керамических композиций Г-3 (базовой), ГП-2, ГП-4 и ГП-6, содержащих соответственно 10, 20 и 30 мас.ч пыли ПГУ

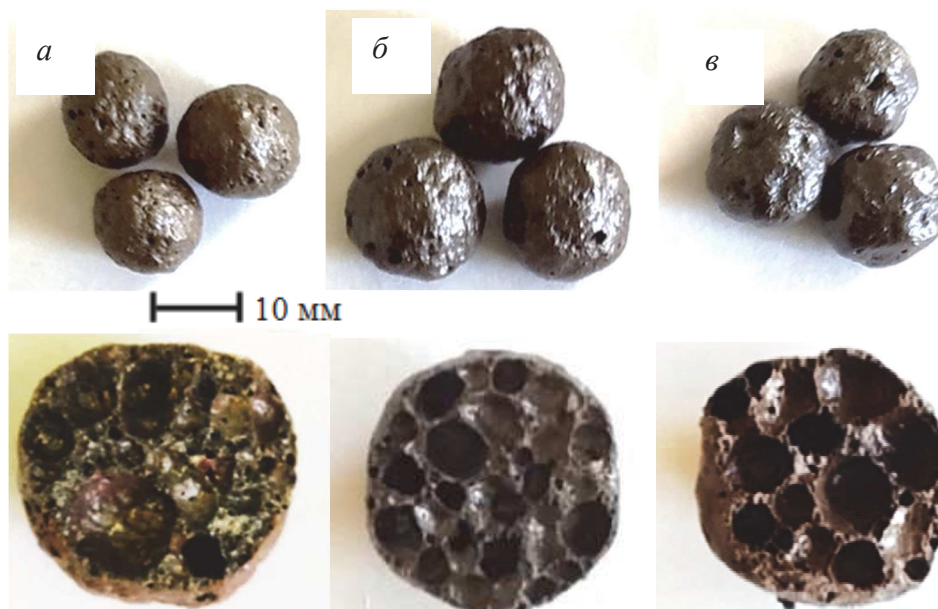


Рисунок 2 – Фотографии обожженных гранул и их срезов:  
*a* – состав Г-3; *б* – ГП-3; *в* – ГП-4

Пористая структура полученных теплоизоляционных материалов отличается равномерностью, изометричностью пор, остеклованностью как поверхности гранул, так и внутренней поверхности пор, что способствует увеличению механической прочности при сжатии материала и улучшению его химической стойкости.

Интервал показателей основных физико-химических свойств полученных материалов фракции 10–14 мм приведен в таблице.

**Показатели основных свойств разработанных пористых заполнителей составов Г-3, ГП-3 и ГП-4**

| Свойства  | Показатели свойств |
|---|--------------------|
| Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>                                 | 550–800            |
| Насыпная масса, кг/м <sup>3</sup>                                 | 385–550            |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К                              | 0,075–0,085        |
| Механическая прочность при сжатии, МПа                            | 2,1–2,3            |
| Водопоглощение, %   | 4,0–7,5            |
| Коэффициент вспучивания   | 2,9–3,8            |
| Морозостойкость, циклов   | 150–200            |
| Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг | 90,0–93,0          |

В результате проведенных экспериментальных исследований разработаны рецептуры сырьевых композиций, состоящих из отходов горнодобывающей и металлургической промышленности, отечественной глины месторождения «Лукомль», из которых изготовлены керамические массы для приготовления сырцовых гранул и получены теплоизоляционные материалы, обладающие комплексом требуемых физико-механических характеристик – объемной и насыпной плотностью, теплопроводностью, морозостойкостью, механической прочностью при сжатии.

Учитывая фактор промышленной разработки Микашевичского месторождения строительного камня и наличия значительного количества некондиционной фракции – гранитоидных отсеков, большого количества техногенных отвальных отходов электросталеплавильного производства, которые исчисляются миллионами тонн, доступности глинистого сырья, подтверждена целесообразность их использования для получения теплоизоляционных пористых материалов, а также экономическая и экологическая эффективность одновременной комплексной утилизации двух видов техногенных отходов.

## Литература

1. Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия (Переиздание): ГОСТ 32496–2013. – Введ. 01.01.2015. – М: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2015. – 19 с.
2. Химические анализы горных пород кристаллического фундамента Белоруссии: Справ. / А. М. Пап [и др.]. Минск: Наука и техника, 1988. – С. 21–23.
3. Комплексное исследование физико-химических свойств пыли металлургического производства в целях определения основных направлений ее переработки / Е. О. Богдан [и др.]. // Стекло и керамика. – 2020. – №5. – С.26–34.
4. Хомич, П.З. Полезные ископаемые Беларуси / П.З. Хомич, С.П. Гудак, А.М. Синичка. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – С. 346–365.
5. Исследование физико-химических процессов, происходящих при формировании пористой структуры теплоизоляционных материалов на основе гранитоидных пород Беларуси / С.Е. Баранцева [и др.] // Труды БГТУ, сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 2. С. 13–20.