

УДК 691.32

Фёдоров Тимофей Максимович, аспирант, 1 курс кафедры Железнодорожный путь и строительство Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВА САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ В ИЗГОТОВЛЕНИИ
ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ**

В статье рассматривается актуальная проблема утилизации промышленных отходов Самарской области и их применение в качестве сырья для производства эффективных жаростойких бетонов. Проведен анализ пригодных видов отходов нефтехимии, металлургии и производства строительных материалов. Исследованы технологии их использования в составах на портландцементе, жидком стекле и наиболее перспективном фосфатном вяжущих. Показано, что разработанные композиты обладают повышенной огнеупорностью, прочностью и коррозионной стойкостью, одновременно обеспечивая значительный экономический и экологический эффект за счет сокращения свалок и снижения себестоимости материалов. Работа подтверждает целесообразность создания замкнутых производственных циклов на основе местных отходов.

The article discusses the current problem of industrial waste disposal in the Samara region and their use as raw materials for the production of effective heat-resistant concrete. The analysis of suitable types of waste from petrochemistry, metallurgy and the production of building materials is carried out. The technologies of their use in formulations based on Portland cement, liquid glass and the most promising phosphate binders are investigated. It is shown that the developed composites have increased fire resistance, strength and corrosion resistance, while providing significant economic and environmental benefits by reducing landfills and reducing the cost of materials. The work confirms the feasibility of creating closed production cycles based on local waste.

Ключевые слова: жаростойкий бетон, жаростойкие композиты, промышленные отходы, фосфатные связующие

Keywords: heat-resistant concrete, heat-resistant composites, industrial waste, phosphate binders

Введение

Актуальность разработки эффективных и экономичных огнеупорных материалов для футеровки промышленных тепловых агрегатов остается одной из ключевых задач в металлургической, химической и строительной отраслях. Традиционные штучные керамические огнеупоры, несмотря на свои положительные качества, обладают рядом существенных недостатков: высокая трудоемкость монтажа, наличие слабых мест в виде кладочных швов, дефицитность и стоимость сырья для их производства (шамот, корунд, муллит). В этой связи все более широкое применение находят безобжиговые жаростойкие бетоны (композиты), позволяющие создавать монолитные конструкции сложной формы и значительно повышать долговечность футеровок.

Параллельно с этим острой проблемой для промышленно развитых регионов, к которым относится Самарская область, является утилизация накапливающихся многотоннажных отходов производства. Их складирование на полигонах приводит к отчуждению земель и создает риски для окружающей среды. Таким образом, стратегическим направлением, сочетающим технологический прогресс и экологическую безопасность, является использование промышленных отходов в качестве сырья для специальных строительных материалов.

Целью исследования является анализ научных и практических разработок в области применения отходов промышленности Самарской области для создания эффективных жаростойких бетонов. В работе

рассматривается классификация пригодных отходов, технологические аспекты их применения в составах на различных вяжущих, а также оценка получаемых свойств композитов.

Основная часть

1. Классификация и характеристика промышленных отходов Самарской области как сырьевой базы

Самарская область, обладая развитым промышленным комплексом (нефтехимия, химия, цветная металлургия, производство строительных материалов), формирует значительные объемы минеральных отходов, перспективных для огнеупорного бетонирования. Проведенные исследования, в частности, коллективом под руководством А.И. Хлыстова, позволили систематизировать их по происхождению и функциональному назначению в составах [10].

Отходы нефтехимии и химии:

Отработанный алюмохромистый катализатор ИМ-2201 (Новокуйбышевск, Тольятти). Представляет собой тонкодисперсную смесь оксидов алюминия (Al_2O_3 до 75%) и хрома (Cr_2O_3 до 15%) с огнеупорностью >2000 °С. Является высокоценной тонкомолотой добавкой, способной существенно повышать огнеупорность и прочность композитов на портландцементе, жидком стекле и фосфатных связующих [5, 10].

Пиритные огарки (Чапаевск). Продукт обжига пирита при производстве серной кислоты. Содержат до 70-75% оксидов железа. После тонкого помола могут выступать компонентом для синтеза фосфатных связующих [10].

Фосфорный шлак (Тольятти, «Куйбышевфосфор»). Отход производства элементарного фосфора. Основной минерал – волластонит ($CaO \cdot SiO_2$), огнеупорность 1380-1400 °С. Может использоваться как химический отвердитель для жидкого стекла и как прочный наполнитель [7, 10].

Отходы цветной металлургии (Самарский металлургический завод):

Солевые шлаки алюминиевого производства. Богаты глиноземом, но загрязнены хлоридами. После процедуры обогащения (промывка, дробление, магнитная сепарация) могут быть преобразованы в технический глинозем – активную тонкомолотую добавку [10].

Шлам щелочного травления алюминия. Наноразмерный (20-80 нм) глиноземсодержащий продукт с высокой дисперсностью и адсорбционной способностью. Применяется как пластификатор бетонных смесей и сырье для синтеза фосфатных связок [3, 10].

Алюмокальциевый шлам с очистных сооружений. Содержит карбонаты кальция, магния и гидроксид алюминия. Служит основой для получения алюмокальцийфосфатных связующих [10].

Отходы промышленности строительных материалов:

Керамзитовая пыль. Образуется на заводах по производству керамзитового гравия (Самара, Октябрьск). В зависимости от точки отбора (пылеосадительная камера или просыпь) обладает разной температурной характеристикой и гидравлической активностью. Используется как алюмосиликатная тонкомолотая добавка [10].

Бой керамического кирпича и огнеупорный лом. После дробления и фракционирования служат качественными заполнителями. Бой тугоплавкого кирпича Чапаевского завода позволяет повысить температурный предел применения бетона до 1200-1250 °С [10].

2. Технологии применения отходов в составах жаростойких бетонов

Эффективность утилизации отходов напрямую зависит от выбора типа вяжущего и технологических приемов.

Вяжущие на основе портландцемента (ПЦ). Главная проблема – образование свободного оксида кальция (CaO) при нагреве, который гидратируется с разрушительным расширением. Для его связывания вводят тонкомолотые добавки, содержащие активные SiO₂ и Al₂O₃. Исследования показали, что введение 50-60% отхода ИМ-2201 в состав смешанного

вяжущего (ПЦ:ИМ-2201 = 1:1) позволяет получить бетоны с температурой применения до 1300-1500 °С и остаточной прочностью после обжига 30%. Керамзитовая пыль также эффективно связывает СаО, повышая термостойкость композита [1, 10].

Вяжущие на основе жидкого стекла (ЖС). Эти составы требуют химического отвердителя (чаще кремнефтористый натрий). Было установлено, что самораспадающиеся шлаки, содержащие двухкальциевый силикат (C_2S), например, феррохромовый шлак, могут эффективно выполнять эту роль. Применение в качестве тонкомолотой добавки и заполнителя отходов ферросплавов (ферротитанового, ферромарганцевого шлака) позволяет получать бетоны с прочностью после нагрева до 1100 °С до 25-27 МПа и термостойкостью 18-20 водных теплосмен [6, 7, 8, 10].

Фосфатные связующие и бетоны. Наиболее перспективное направление для использования высокоглиноземистых и алюмосодержащих отходов. Ортофосфорная кислота (H_3PO_4) или готовые фосфатные связки (алюмофосфатная, алюмохромофосфатная) взаимодействуют с оксидами отходов, образуя при нагреве прочную мелкокристаллическую структуру. На основе наноразмерных алюмосодержащих шламов синтезируются эффективные фосфатные связки. Бетоны на таких связках с заполнителями из огнеупорного лома обладают высокой прочностью, коррозионной стойкостью и низкой усадкой, а их температура деформации под нагрузкой может достигать 1500-1700 °С [4, 9, 10].

3. Свойства и эффективность получаемых композитов

Внедрение отходов в рецептуры жаростойких бетонов позволяет не только решить проблему утилизации, но и получить материалы с конкурентоспособными свойствами:

Повышение физико-термических показателей: За счет высокого содержания тугоплавких оксидов (Al_2O_3 , Cr_2O_3) в отходах увеличивается огнеупорность, температура деформации под нагрузкой и термическая стойкость бетонов.

Снижение стоимости: Замена дефицитного шамота или корунда местными отходами (стоимость отработанного катализатора на порядок ниже) значительно снижает себестоимость материала.

Экологический эффект: Ликвидация или сокращение площадей шлакоотвалов, предотвращение загрязнения атмосферы и гидросферы продуктами разложения отходов.

Региональная самодостаточность: Создание замкнутых производственных циклов на предприятиях, где отходы одного передела становятся сырьем для ремонтных или строительных нужд самого предприятия (например, использование керамзитовой пыли и лома для ремонта футеровок на том же керамзитовом заводе) [10].

Заключение

Проведенный анализ подтверждает высокую технико-экономическую и экологическую целесообразность использования промышленных отходов Самарской области в производстве жаростойких бетонов. Многообразие образующихся отходов (от высокоглиноземистых катализаторов до алюмосиликатных пылей) позволяет целенаправленно подбирать их для модификации различных типов вяжущих - гидравлических, жидкостекольных и, наиболее перспективно, фосфатных.

Разработанные на основе отходов композиты не уступают, а по ряду параметров (огнеупорность, коррозионная стойкость) превосходят традиционные бетоны на чистых сырьевых материалах. Ключевыми факторами успеха являются предварительное изучение свойств конкретного отхода, разработка технологии его возможного обогащения и оптимального введения в рецептуру.

Таким образом, утилизация промышленных отходов через создание из них высокоэффективных огнеупорных материалов представляет собой яркий пример реализации принципов «зеленой» экономики и импортозамещения в области критических технологий, обеспечивая ресурсосбережение,

экологическую безопасность и повышение конкурентоспособности промышленности региона.

Список использованных источников:

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С. Жаростойкие бетоны на портландцементе с минеральными добавками. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 168 с.
2. Безуглов Д.А., Звезда М.Ю., Лагунов И.М. [и др.] / Композиционные материалы: разработка и применение. – Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников "Сибирская академическая книга", 2017. – 180 с. – ISBN 978-5-4379-0552-4. – EDN ZMFLBF.
3. Бурьян А.Т., Смирнов Ю.Д. Наноразмерные техногенные материалы в строительном комплексе. – СПб.: НИИЦемент, 2010. – 210 с.
4. Дибров Г.Д., Шпирько Н.В. Фосфатные огнеупорные бетоны и покрытия. – Киев: Наукова думка, 1988. – 192 с.
5. Казаков Ю.В., Хлыстов А.И. Использование отработанного алюмохромистого катализатора в жаростойких бетонах // Вестник СамГТУ. Сер. «Технические науки». – 2013. – № 4. – С. 84-90.
6. Некрасов К.Д., Тарасова А.П. Развитие исследований и применение жаростойких бетонов // Бетон и железобетон. – 1985. – № 9. – С. 10-12.
7. Тарасова А.П., Некрасов К.Д. Жаростойкие бетоны на шлаках ферросплавного производства. – М.: Стройиздат, 1980. – 156 с.
8. Хлыстов, А. И. Повышение эффективности жаростойких композитов за счет применения химических связующих / А. И. Хлыстов, С. В. Соколова, А. В. Власов // Технологии бетонов. – 2014. – № 2(91). – С. 46-50. – EDN RCJOOO.
9. Получение эффективных огнеупорных футеровочных материалов на основе отходов производства / А. И. Хлыстов, А. В. Божко, С. В. Соколова, Р. Т. Рязов // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 2. – С. 131-133. – EDN IMPJGJ.
10. Хлыстов А.И. Жаростойкие бетоны на основе отходов промышленности Самарской области: монография. – Самара: АСИ СамГТУ, 2016. – 134 с.

Literature:

1. Bazhenov, Yu. M., & Demyanova, V. S. (2005). Zharostoikie betony na portlandtsemente s mineral'nymi dobavkami [Heat-resistant concretes on Portland cement with mineral additives]. ASV Publishing.
2. Bezuglov, D. A., Zvezdina, M. Yu., Lagunov, I. M., [et al.] (2017). Kompozitsionnye materialy: razrabotka i primeneniye [Composite materials: development and application]. Sibirskaya Akademicheskaya Kniga. ISBN 978-5-4379-0552-4.
3. Bur'yan, A. T., & Smirnov, Yu. D. (2010). Nanorazmernye tekhnogennye materialy v stroitel'nom komplekse [Nanoscale technogenic materials in the construction sector]. NII Tsement.
4. Dibrov, G. D., & Shpir'ko, N. V. (1988). Fosfatnye ogneupornye betony i pokrytiya [Phosphate refractory concretes and coatings]. Naukova Dumka.
5. Kazakov, Yu. V., & Khlystov, A. I. (2013). Ispol'zovanie otrabotannogo alyumokhromistogo katalizatora v zharostoikikh betonakh [Use of spent aluminum-chromium catalyst in heat-resistant concretes]. Bulletin of Samara State Technical University. Series "Technical Sciences", (4), 84–90.
6. Nekrasov, K. D., & Tarasova, A. P. (1985). Razvitie issledovaniy i primeneniye zharostoikikh betonov [Development of research and application of heat-resistant concretes]. Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete], (9), 10–12.
7. Tarasova, A. P., & Nekrasov, K. D. (1980). Zharostoikie betony na shlakakh ferrosplavnogo proizvodstva [Heat-resistant concretes on ferroalloy production slags]. Stroyizdat.
8. Khlystov, A. I., Sokolova, S. V., & Vlasov, A. V. (2014). Povysheniye effektivnosti zharostoikikh kompozitov za schet primeneniya khimicheskikh svyazuyushchikh [Improving the efficiency of heat-resistant composites through the use of chemical binders]. Tekhnologii Betonov [Concrete Technologies], 2(91), 46–50.
9. Khlystov, A. I., Bozhko, A. V., Sokolova, S. V., & Riyazov, R. T. (2004). Poluchenie effektivnykh ogneupornykh futerochnykh materialov na osnove

otkhodov proizvodstva [Obtaining effective refractory lining materials based on industrial waste]. Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya [Advances in Current Natural Sciences], (2), 131–133.

10. Khlystov, A. I. (2016). Zharostoikie betony na osnove otkhodov promyshlennosti Samarskoi oblasti: monografiya [Heat-resistant concretes based on industrial waste of the Samara region: a monograph]. ASI SamGTU.