

УДК: 666.974.2

ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ЖАРСТОЙКИХ ВЯЖУЩИХ И БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ

**А. П. Приходько, д.т.н., проф., Н. В. Шпирько, д.т.н., проф.,
А. В. Дзюбан, к.т.н., доц., Р. Б. Папирнык, к.т.н., доц.
А. А. Сыщенко, асп., В. О. Коваленко, асп.
И. В. Лазоренко, асп. Д. О. Маляр, к.т.н., ас.**

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры»*

Введение. Необходимым условием успешного развития научно-технического прогресса в производстве жаростойких вяжущих и бетонов является широкое использование разных вторичных продуктов производств, что позволяет значительно повысить экономическую эффективность производства и соответственно снизить себестоимость современных материалов, а также улучшить экологическую ситуацию. Даже частичная замена природных сырьевых материалов отходами производства может дать значительный экономический эффект [1].

Актуальность проблемы. На сегодняшний день на рынке теплоизоляционных строительных материалов для теплоизоляции тепловых агрегатов и их оборудования сложилась высокая конкуренция, она обусловлена избытком товаров зарубежного производства. Но мало из недорогих теплоизоляционных материалов обладают большинством необходимых эксплуатационных свойств, для теплоизоляции, а те, что обладают, имеют высокую цену. Материалы для теплоизоляции тепловых агрегатов, работающих при высоких температурах и резких ее колебаниях должны обладать высокой прочностью, повышенной термостойкостью, пониженной теплопроводностью, не высокой себестоимостью, повышенной долговечностью и рядом других показателей.

На данном этапе исследований ставилась **цель** провести литературный обзор жаростойких бетонов с использованием отходов производств, для теплоизоляции тепловых агрегатов и их оборудования, а также требований предъявляемых к ним для проведения анализа и выявления проблем и недостатков в технологии получения и применения данных материалов.

Анализ публикаций. Жаростойкие бетоны должны отвечать требования ДСТУ Б В.2.7 – 249:2011 Бетоны жаростойкие. Технические условия (ГОСТ 20910-90, MOD).

В исследованиях по разработке и совершенствованию жаростойких бетонов можно выделить следующие основные направления: создание новых относительно дешевых вяжущих веществ для получения жаростойких бетонов; использование в качестве составляющих компонентов бетонов различных отходов промышленности; снижение плотности жаростойких бетонов [1].

В основном в жаростойких бетонах применяются следующие разновидности вяжущих: гидравлические – портландцемент, быстротвердеющий портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистый,

высокоглиноземистый и другие цементы; воздушные – жидкое стекло, периклазовый цемент и др.; химические связующие – силикат натрия, фосфатные и другие подобные соединения [1].

Один из способов достижения снижения средней плотности жаростойких легких бетонов и повышение теплозащитных свойств ограждающих жаростойких легковесных конструкций из них, заключается в использовании особо легких полимерных пористых заполнителей – гранулированного полистирола [2]. Первый нагрев жаростойкого легкого бетона с использованием гранулированного полистирола должен производиться при работающей общеобменной приточно-вытяжной вентиляции, установленной в местах наибольшего выделения летучих веществ. Так как гранулированный полистирол по ГОСТ 12.1.044 является горючим продуктом, при горении полистирола образуются двуокись углерода, окись углерода, сажа, температура воспламенения 343 °С. Вследствие сгорания полистирола остаются замкнутые поры, тем самым снижается теплопроводность изделия.

На основе изученных литературных данных применение отходов промышленности для жаростойких композиций во многих случаях оказалось более эффективным, чем использование технических материалов. Так, исследования, проведенными А. П. Тарасовой, С. Ю. Гоберисом показано, что замена кремнефтористого натрия на феррохромовый шлак в жаростойких бетонах на жидком стекле позволила повысить температуру их применения, водостойкость к действию щелочей. Материалами содержащие однокальциевый и двухкальциевый силикат, являются гранулированный, нефелиновый и марганцовистый шлаки, наиболее эффективным отвердителем при использовании данных шлаков является жидкое стекло [3-9].

Применение шлаков алюмотермического производства позволило получить технический глинозем (высокоглиноземистый цемент), а на основе высокоглиноземистого цемента получить жаростойкие бетоны с высокими физико-техническими свойствами [10].

На основе каолиновых отходов получены особо легкие бетоны с температурой применения до 1200 °С [11, 12].

Для получения легких жаростойких бетонов с температурой службы 1200 °С и выше применяются отходы нефтехимического производства – катализаторы К-5 [13, 14].

Хромглиноземистый шлак используется для получения алюмофосфатной связки, а также в качестве наполнителя огнеупорных масс. При обработке летучей золы фосфорной кислоты получен эффективный теплоизоляционный материал [15].

Тотурбиевым Б. Д. и Порсуковым А. А. проведены исследования, направленные на снижение содержания связующего легкоплавкого составляющего в составе жаростойкого бетона при использовании в качестве связующего безводного силиката натрия взамен жидкого стекла и тем самым повышения его эксплуатационных свойств. В качестве исходных сырьевых материалов были использованы электроплавленный корунд, боксит и безводные силикаты натрия. В исследованиях значительное внимание было уделено оптимизации состава композиционного вяжущего и на его основе

корундового жаростойкого бетона. Использование симплекс-решетчатого метода планирования позволило получить диаграммы зависимости свойств вяжущего от его состава. Было установлено в частности, что увеличение содержания силикат-глыбы в составе оказывает существенное негативное влияние на прочность материала в нагретом состоянии. Оптимальным составом композиционного вяжущего является смесь, состоящая из сухих компонентов (в % по массе): тонкомолотого электроплавленного корунда (22); тонкомолотого боксита (62); тонкомолотой силикат-глыбы (16) [16].

Изучение физико-химических свойств и минералогического состава отходов абразивного производства позволило сделать вывод о целесообразности их использования в качестве компонентов жаростойких покрытий и сырья в промышленности жаростойких материалов [17].

В работе [18] были разработаны составы жаростойких бетонов повышенной прочности, термостойкости с максимальной температурой использования 1100 °С с использованием металлургических шлаков и жидкого стекла для футеровки подвижного состава туннельных печей. Шлаки, используемые при приготовлении жаростойких бетонов: феррохромовый шлак (ФХШ), шлак саморозпадающийся от выплавки металлического марганца (ШСММ), шлак гранулированный от выплавки силикатмарганца (ШГСМ). Основной задачей при выборе состава жаростойкого бетона являлось определение оптимального расхода мелко и крупного заполнителей с целью выявления минимального расхода вяжущего и получения бетона минимальной пористости.

После установления расхода компонентов расчетным путем были изготовлены бетонные смеси. В результате определения прочности жаростойких бетонов после нагрева установлено, что минимальные показатели марочной прочности имеют бетоны с добавками ШГСМ и шамотным заполнителем (8-18 МПа). У бетонов с комбинированной мелко молотой добавкой марочная прочность выше в среднем на 11-19%. Необходимо отметить, что марочная прочность жаростойких бетонов на отвердителе ФХШ выше всех других составов. Это объясняется тем, что фазовый состав ФХШ представлен не только γ -формой двух кальциевого силиката, но и дополнительно содержит до 10% β -формы C_2S которая является более активной в реакциях с жидким стеклом, вследствие чего прочность повышается.

Повышение температуры нагрева до 100 °С приводит к незначительному повышению предела прочности при сжатии в бетонах с мелко молотой добавкой ШГСМ. После нагрева от 100 до 600 °С отмечено снижение прочности бетонов всех составов. В бетонах на отвердителе ШСММ такое снижение прочности составляет от 13 до 19%, а в бетонах на ФХШ от 36 до 48%. Уменьшение прочности объясняется дегидратацией γ -гидрата двух кальциевого силиката и вероятно натрий кальциевых гидросиликатов. Последующий нагрев в интервале 800-1000 °С приводит к росту прочности всех составов жаростойкого бетона, в большей степени с отвердителем ФХШ (50-100%), чем с отвердителями ШСММ и ШГСМ (23-28%) по сравнению с прочностью бетона после нагрева до 600 °С. Повышение пределов прочности

при сжатии жаростойких бетонов после нагрева до 1000 °С объясняется тем, что в данном интервале температур происходит активное взаимодействие в твердых фазах между двух кальциевым силикатом и жидким стеклом с образованием мелилита и натрий кальциевого силиката состава $\text{Na}_2\text{Ca}_3\text{Si}_6\text{O}_{16}$ в контактной зоне вяжущего и заполнителей. Дальнейшее повышение температуры нагрева до 1100 °С приводит к повышению прочности жаростойких бетонов с мелко молотой добавкой ШГСМ и незначительному снижению прочности бетонов с комбинированной мелко молотой добавкой ШСММ [18].

Жаростойкий бетон имеет более высокую термическую устойчивость (1,5-2 раза), чем искусственные шамотные огнеупоры. Жаростойкий бетон по своей структуре является гетерогенным материалом, структура которого характеризуется значительной пористостью и трещиноватостью. Поэтому с позиций срока годности футеровки, изготовленной из жаростойкого бетона, его сопротивление распространению трещин при термических ударах достаточно высокое.

Широкое распространение получили жаростойкие бетоны на основе портландцемента за счет более низкой стоимости по сравнению с другими жаростойкими бетонами, а также применения технологий, используемых в работе с обычными бетонами.

Отрицательным свойством этих бетонов является потеря прочности при сжатии после температурного воздействия по сравнению с первоначальной прочностью. При этом остаточная прочность составляет 30 – 40% марочной.

Для преодоления этого недостатка в настоящее время применяют способ модифицирования структуры цементного камня путем создания композиционных материалов, введением органических и неорганических полимеров.

Наиболее простое композиционное вяжущее состоит из трех компонентов: портландцементного порошка, воды и минеральной или органической добавки.

Минеральные добавки должны связывать свободный оксид кальция, не образовывать с минералами портландцемента легкоплавких соединений, уменьшать усадку гидратированного вяжущего при нагревании, повышать жаростойкие свойства портландцемента, не снижать активности вяжущего.

Наиболее часто используемыми являются добавки, содержащие, в основном, кремнезем и глинозем (корунд, шамот и др.). Так, шамот значительно ослабляет температурные усадочные явления, и при введении его в вяжущее в количестве 0,33 масс.% портландцемента температурная усадка уменьшается на 0,2%, а при добавлении 0,67 части – более 0,4%.

При действии высоких температур 1000 – 1200 °С в композиционном вяжущем образуется расплав. Жидкая фаза образует на твердых частицах тончайшие адсорбционные пленки. При увеличении количества расплава растет толщина адсорбционного слоя, образуются мениски расплава, и силы сцепления между зернами достигают значительной величины. В этом случае расплав выполняет роль связки. При охлаждении материала образующиеся

новообразования выполняют роль связующего и придают материалу прочность. С целью обеспечения и регулирования этого процесса в вяжущее вводится силикатная добавка [18].

Для выявления роли силикатной добавки проводились работы по исследованию комплексного вяжущего.

Анализ результатов исследований [19] показал, что присутствие силикатной добавки благотворно влияет на свойства жаростойкого вяжущего. Прочность образцов после воздействия температуры 1000 °С не только не уменьшилась, но и возросла по сравнению с прочностью эталонных образцов. При увеличении количества силикатной добавки и уменьшении тонкомолотого шамота НГЦГ вяжущего незначительно увеличилась. Оптимальное количество силикатной добавки в вяжущем находится в пределах 12 – 18%. На полученном вяжущем были изготовлены бетонные образцы, обладающие следующими свойствами:

- класс бетона по предельной допустимой температуре применения И 12;
- класс бетона по прочности при сжатии В 35 – В 40;
- остаточная прочность бетона после температурного воздействия (800 °С) – 100%;
- средняя плотность – 1850 – 1900 кг/м³;
- марка по термической прочности Т₁40.

Выводы. В работе проведен литературный обзор о жаростойких для теплоизоляции тепловых агрегатов и их оборудования, а также требований предъявляемых к ним. Даны теоретические положения о возможности получения жаростойких масс с использованием отходов производств и различных вяжущих материалов. Применение отходов абразивного производства в составы жаростойких бетонов и вяжущих повышает различные характеристики данных материалов при эксплуатации в условиях повышенных температур.

Список использованных источников

1. Жуков В. В. Жаростойкие бетоны и перспективы их применения / В. В. Жуков, В. В. Ремнев // Бетон и железобетон. – 1995. – № 4. – С. 13 – 16.
2. Милых Т. И. Конструкционно-теплоизоляционный полистеролбетон / Т. И. Милых // Бетон и железобетон. – 1988. – № 10. – С. 11 – 13.
3. Некрасов К. Д. Жароупорный химически стойкий бетон на жидком стекле / К. Д. Некрасов, А. П. Тарасова. – М. : Госхимиздат, 1962. – 152 с.
4. Некрасов К. Д. Жаростойкие бетоны на жидком стекле с различными добавками / К. Д. Некрасов, А. П. Тарасова // Жаростойкие бетоны : сб. науч. трудов. – М., 1964. – С. 125 – 139.
5. Тарасова А. П. Жаростойкие бетоны на жидком стекле со шлаками ферросплавных производств / А. П. Тарасова, А. А. Блюсин // Жаростойкие бетоны : сб. науч. трудов. – М., 1964. – С. 157 – 168.
6. Гоберис С. Ю. Футеровка крышек агрегатов АВМ-1,5А жаростойким бетоном и исследование некоторых его свойств / С. Ю. Гоберис, Л. И.

Мерлинская // Опыт применения жаростойких бетонов в промышленности и строительстве : сб. докл. – Дн-ск., 1978. – С. 134.

7. Тарасова А. П. Вяжущее на основе жидкого стекла и однокальциевого силиката / А. П. Тарасова // Жаростойкие бетоны : сб. науч. трудов. – М., 1974. – С. 138 – 147.

8. Тарасова А. П. Нефелиновый шлам Ачинского глиноземистого завода в качестве отвердителя жаростойкого бетона на жидком стекле / А. П. Тарасова // Жаростойкие бетоны : сб. науч. трудов. – М., 1974. – С. 148 – 162.

9. Тарасова А. П. Применение жаростойкого бетона на жидком стекле для футеровки вагонеток туннельных печей / А. П. Тарасова // Строительные материалы и изделия. – 1976. – № 4. – С. 11 – 16.

10. Климов М. Ю. Внедрение разработок «УралНИИСтромпроекта» в практику / М. Ю. Климов // Строительные материалы и изделия. – 1975. – № 7. – С. 19 – 24.

11. Мириев И. М. Получение жаростойких бетонов на основе отработанных каолиновых отходов завода Хлороорганических продуктов / И. М. Мириев // Опыт применения жаростойких бетонов в промышленности и строительстве : сб. докл. – Дн-ск., 1978. – С. 54 – 55.

12. Кулиев Г. Б. Легкие жаростойкие бетоны на основе отходов промышленности / Г. Б. Кулиев, Л. Г. Гусейнова, М. А. Мамедова // Опыт применения жаростойких бетонов в промышленности и строительстве : сб. докл. – Дн-ск., 1978. – С. 50 – 51.

13. Эффективные заполнители для легких жаростойких бетонов / М. К. Кабанова, Ю. Н. Захаров, Л. И. Калачева [и др.] // Опыт применения жаростойких бетонов в промышленности и строительстве : сб. докл. – Дн-ск., 1978. – С. 38 – 39.

14. Повышение эффективности жаростойких бетонов за счет применения отходов нефтехимического производства / Шипулин В. И., Шаравина Т. И., Вальтер Е. И. [и др.] // Опыт применения жаростойких бетонов в промышленности и строительстве : сб. докл. – Дн-ск., 1978. – С. 37.

15. Некрасов К. Д. Высокоогнеупорный бетон на алюмохромфосфатной связке / К. Д. Некрасов, Г. Н. Александрова // Жаростойкие бетоны : сб. науч. трудов. – М., 1974. – С. 113 – 123.

16. Тотурбиев Б. Д. Жаростойкое композиционное вяжущее / Б. Д. Тотурбиев, А. А. Порсуков // Бетон и железобетон. – 2006. – № 3. – С. 12 – 16.

17. Исследование возможности использования отходов абразивного производства для получения покрытий изложниц / Л. Д. Свирский, Т. С. Бондаренко, В. П. Журженко [и др.] // Вестник Харьковского политехнического института. – 1975. – № 106. – С. 55 – 56.

18. Гвоздь В. С. Жаростійкий бетон на основі відходів виробництва / В. С. Гвоздь // Бетон и железобетон в Украине. – 2009. – № 3. – С. 18 – 21.

19. Ремнев В. В. Композиционные жаростойкие вяжущие / В. В. Ремнев, С. Л. Горкуненко // Строительные материалы. – 1995. – № 10. – С. 5.