

УДК 62-218.2

**РАЗРАБОТКА ЖАРОСТОЙКОГО БЕТОНА  
ДЛЯ ФУНДАМЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК***Ю.Ю. Курятников**Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Курятников Ю.Ю., 2022

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментальных исследований по разработке жаростойкого бетона, который может использоваться для фундаментов промышленных электротехнологических установок: электрических печей и электронагревательных установок, электросварочных установок всех видов, установок для размерной электрофизической и электрохимической обработки металлов.

**Ключевые слова:** жаропрочный бетон, электротехнологические установки, состав бетона.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-51-56****ВВЕДЕНИЕ**

По программе импортозамещения в РФ строятся новые предприятия, реконструируются старые заводы всех отраслей: металлургии, машиностроения, пищевой промышленности, промышленности строительных материалов и др. В связи с этим растет объем строительства новых и реконструкции старых электротехнологических установок и тепловых агрегатов, футеровка в которых выполняется с применением современных огнеупорных материалов, в том числе жаростойких бетонов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Преимущества жаростойких бетонов перед штучными керамическими изделиями состоят в следующем:

футеровка, выполненная с применением жаростойких бетонов, имеет минимальное количество швов – самых узких мест любых футеровок, откуда начинается разрушение;

жаростойкие бетоны возможно получать как на гидравлических, так и на химических связующих, что позволяет применять их в футеровках с различными агрессивными средами;

за счет сокращения числа швов в футеровках печей снижается расход тепловых ресурсов, повышается производительность труда обслуживающего персонала и увеличивается межремонтный цикл работы тепловых агрегатов.

Несмотря на значительные преимущества жаростойких бетонов, пока что большинство футеровок тепловых агрегатов возводится с использованием штучных керамических изделий. Это обстоятельство объясняется малым числом заводов по выпуску жаростойких бетонов.

Исследования жаростойких бетонов проведены в ряде научных работ. Статья [1] посвящена изучению влияния минеральных добавок на свойства жаростойких мелкозернистых шлакощелочных бетонов с шамотным заполнителем. В качестве шлакощелочного вяжущего для проведения исследований использован само-

распадающийся феррохромовый шлак, затворенный водным раствором NaOH. Минеральные добавки различной природы и химического состава вводили в количестве 10 и 20 % взамен части самораспадающегося феррохромового шлака. В результате работы выявлено, что применение добавок каолина и реактивного глинозема позволяет получить жаростойкие бетоны с высокой остаточной прочностью и термостойкостью. Кроме того, каолин способствует повышению прочности бетона после тепловой обработки, а применение реактивного глинозема позволяет получить жаростойкий бетон с классом по предельно допустимой температуре применения И13.

Интерес представляет разработка жаростойких бетонов на основе тальково-хлоритовых сланцев [2]. В работе исследованы их химический, дифференциально-термический и рентгенографический анализы и проведена сравнительная оценка. На основе заполнителя из термообработанных при разных температурах сланцев подобраны составы и изучены основные свойства жаростойких бетонов. Установлено, что бетоны на основе термообработанных при 1 000 °С сланцев месторождения Калиево-Муренанваара Сегозерской группы удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к жаростойким бетонам, и могут применяться для футеровки тепловых агрегатов с нейтральной средой. Они имеют остаточную прочность не ниже 30 %, усадку не более 1 %, предельно допустимую температуру применения 1 000 °С и низкий коэффициент теплопроводности.

В качестве наполнителя в жаростойких бетонах эффективно использовать армирующие волокна [3]. В составы бетонов было введено армирующее волокно в количестве 4 % от массы вяжущего вещества. В качестве армирующих волокон использовались отработанное асбестовое волокно, базальтовое волокно и металлическая фибра из жаростойкой стали. Введение огнеупорных волокнистых материалов в виде армирующих компонентов позволило повысить не только предел прочности при изгибе, но и термическую стойкость жаростойких бетонов на портландцементе, глиноземистом цементе, жидком стекле. Применение волокон в виде армирующих компонентов позволило использовать многие жаростойкие бетонные элементы в качестве изделий, испытывающих изгибающий эффект (например, в плитах перекрытия туннельных печей и других тепловых агрегатах).

Номенклатура сырьевых материалов для приготовления составляющих жаростойких бетонов может быть расширена за счет применения различных промышленных отходов, среди которых значительное место занимают металлургические шлаки [4, 5]. На их основе можно получать вяжущие, заполнители, тонкомолотые добавки и отвердители для жаростойких и огнеупорных бетонов с температурой применения 800–1 700 °С. В качестве вяжущего для жаростойких бетонов применяются шлаки алюминиотермического производства безуглеродистого феррохрома. После помола эти шлаки приобретают свойства быстротвердеющего гидравлического вяжущего с прочностью в трехсуточном возрасте 20–35 МПа. При изучении жаростойких свойств гидратированного шлакового вяжущего установлено, что минимальная остаточная прочность полученного цементного камня образцов после воздействия температуры 1 200 °С составляет 35–60 %; усадка – 1,3–1,6 %; огнеупорность – 1 520–1 540 °С; температура деформации (под нагрузкой 0,2 МПа): начало размягчения – 1 220–1 230 °С; разрушение – 1 400–1 500 °С.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

По заявке заказчика для использования на ОАО «Мелькомбинат» (город Тверь) нами разработан жаростойкий бетон ВР Р В25 И5 (согласно ГОСТ 20910-2019 «Бетоны жаростойкие. Технические условия») класса по прочности на сжатие В25 с температурой применения до 500 °С.

Применялись следующие сырьевые материалы: портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ЖИ, шамотный щебень ЗША фракции 5–20 мм, шамотный отсев ЗША фракции 0–5 мм, шамот молотый ПШБМ, добавка-суперпластификатор SikaPlast E-4 (рис. 1). Физико-химические показатели огнеупорных заполнителей представлены в табл. 1, 2.



Рис. 1. Инертные материалы для изготовления жаростойкого бетона.  
Слева направо: шамот молотый, отсев шамота 0–5 мм, шамотный щебень 5–20 мм

Таблица 1

Физико-химические показатели шамотного щебня и шамотного отсева

| Наименование показателя               | Норма для марки |       |
|---------------------------------------|-----------------|-------|
|                                       | ЗША             | ЗШБ   |
| Массовая доля $Al_2O_3$ , не менее, % | 35              | 28    |
| Огнеупорность, °С, не ниже            | 1 690           | 1 630 |
| Водопоглощение, %, не более           | 6               | 8     |

Таблица 2

Физико-химические показатели молотого шамота

| Наименование показателя            | ПШБМ  |
|------------------------------------|-------|
| Содержание $Al_2O_3$ , не менее, % | 31    |
| Огнеупорность, °С                  | 1 670 |
| Зерна более 5 мм, %                | 0     |
| Зерна менее 0,5 мм, %              | 43    |

Молотый шамот ПШБМ – это огнеупорный материал, получаемый путем измельчения обожженных огнеупорных глин каолиновой группы. Исходное сырье (глину) продолжительное время обжигают в промышленных печах при температуре до 1 500 °С. Полученный в результате обжига камень измельчают. Молотый шамот оказывает положительное влияние на физико-химические характеристики жаростойкого бетона, увеличивает жаропрочность и снижает усадку. Обладая высокой огнеупорностью до 1 670 °С, молотый шамот инертен под воздействием кислот.

Испытания на предельно допустимую температуру применения жаростойкого бетона проводили следующим образом. Изготавливали контрольные и основные образцы жаропрочного бетона, которые твердели семь суток, а затем высушивали двое суток в сушильном шкафу при температуре 105 °С. Контрольные образцы испытывали на прочность. Основные образцы нагревали до предельно допустимой температуры применения (в нашем случае это 500 °С) и выдерживали 4 ч. Затем основные образцы выдерживали еще семь суток над водой. Если после нагрева или выдержки над водой в образцах появлялись трещины или околы, бетон браковали. Определяли остаточную прочность бетона как отношение прочности основных образцов к прочности контрольных (рис. 2).



Рис. 2. Образцы, испытанные на прочность после нагрева

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По итогам проведенных исследований был разработан оптимальный состав жаростойкого бетона класса по прочности на сжатие В25 с температурой применения до 500 °С. Фактическая остаточная прочность составляет 97 %, что намного выше нормируемой (не менее 60 %) (табл. 3). Данный факт означает, что разработанный состав можно испытывать на возможность выдерживания при более высокой температуре применения. Использование в составе шамотных огнеупорных заполнителей и наполнителей дает потенциальную возможность эксплуатировать данный бетон при температуре до 1 200 °С в случае положительных испытаний.

Таблица 3

Физико-механические характеристики  
образцов оптимального состава жаростойкого бетона

| Средняя плотность контрольных образцов, кг/м <sup>3</sup> | Средняя плотность основных образцов, кг/м <sup>3</sup> | Прочность контрольных образцов, МПа | Прочность основных образцов, МПа | Остаточная прочность фактическая, % | Остаточная прочность нормируемая, не менее, % | Класс по температуре применения / температура применения, °С |
|---|--|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| 1 990   | 1 945  | 35,3                                | 34,4                             | 97                                  | 60  | И5 / 500   |

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Был разработан жаростойкий бетон BR P B25 И5, который может использоваться для монолитных фундаментов промышленных электротехнологических установок. Дальнейшее совершенствование данного материала пойдет по пути уменьшения его себестоимости за счет использования в составе отходов промышленности.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ахтямов Р.Р. Исследование влияния минеральных добавок на свойства жаростойких бетонов на шлакощелочном вяжущем // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2020. Т. 20. № 2. С. 65–74.
2. Бастрыгина С.В., Конохов Р.В., Заверткин А.С. Разработка жаростойких бетонов на основе талько-хлоритовых сланцев // *Труды Кольского научного центра РАН. Технологии материалов*. 2018. № 2–2 (9). С. 803–808.
3. Сульдин В.В., Хлыстов А.И. Влияние тугоплавких армирующих волокон на свойства жаростойких бетонов // *Национальная ассоциация ученых (НАУ). Технические науки*. 2015. № 3–3 (8). С. 136–139.
4. Абызов А.Н., Рытвин В.М., Абылов В.А., Перепелицын В.А., Григорьев В.Г. Жаростойкие и огнеупорные бетоны на основе вяжущих и заполнителей из шлаков ферросплавного производства // *Строительные материалы*. 2012. № 12. С. 67–69.
5. Рахимова Г.М., Садирбаева А.М., Сыздыкова С.К. Жаростойкий бетон на основе промышленных отходов // *Эпоха науки*. 2019. № 20. С. 182–187.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ**

*КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственный технический университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Курятников Ю.Ю. Разработка жаростойкого бетона для фундаментов электротехнологических установок // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 4 (16). С. 51–56.

**DEVELOPMENT OF HEAT-RESISTANT CONCRETE  
FOR FOUNDATIONS OF ELECTROTECHNOLOGICAL INSTALLATIONS**

*Y.Y. Kuryatnikov*

*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies on the development of heat-resistant concrete, which can be used for the foundations of industrial electrotechnological installations: electric furnaces and electric heating installations, electric welding installations of all types, installations for dimensional electrophysical and electrochemical processing of metals.

**Keywords:** heat-resistant concrete, electrotechnological installations, concrete composition.

**REFERENCES**

1. Akhtyamov R.R. Investigation of the effect of mineral additives on the properties of heat-resistant concrete on a slag-alkali binder. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. 2020. Vol. 20. No. 2, pp. 65–74. (In Russian).
2. Bastrygina S.V., Konokhov R.V., Zavertkin A.S. Development of heat-resistant concretes based on talco-chlorite shales. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Tekhnologii materialov*. 2018. No. 2–2 (9), pp. 803–808. (In Russian).
3. Suldin V.V., Khlystov A.I. The effect of refractory fiber reinforcement on the properties of heat-resistant. *Natsional'naya assotsiatsiya uchenykh (NAU). Tekhnicheskie nauki*. 2015. No. 3–3 (8), pp. 136–139. (In Russian).
4. Abyzov A.N., Rytvin V.M., Abylov V.A., Perepelitsyn V.A., Grigoriev V.G. Heat-resistant and refractory concretes based on binders and aggregates from ferroalloy slag production. *Stroitel'nye materialy*. 2012. No. 12, pp. 67–69. (In Russian).
5. Rakhimova G.M., Sadyrbaeva A.M., Syzdykova S.K. Heat-resistant concrete based on industrial waste. *Epokha nauki*. 2019. No. 20, pp. 182–187. (In Russian).

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

*KURYATNIKOV Yury Yuryevich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Kuryatnikov Y.Y. Development of heat-resistant concrete for foundations of electrotechnological installations // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 51–56.