



DOI: 10.24412/2181-1431-2021-1-10-14
УДК 666.96:669-027.33

Аккурин Т.К., Гнедаш Е.Е.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОСТАВОВ ЖАРОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аккурин Талгаты Кадимович — канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), **Гнедаш Евгений Евгеньевич** – доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Аннотация. Современные пути совершенствования технологий изготовления жаростойких бетонов базируются на разработке новых составов многокомпонентных жаростойких композиций с использованием вторичных ресурсов, не снижая при этом качества выпускаемых изделий что, несомненно, является актуальным и перспективным направлением энергосбережения в строительной отрасли. В технологиях жаростойких бетонов на портландцементе жаростойкие свойства цементному камню придает использование высокотемпературного заполнителя на основе техногенных отходов машиностроительной и металлургической отрасли региона и модификация матрицы. Использование в составе жаростойкой композиции на портландцементном вяжущем наполнителя в виде циклонной пыли карбида кремния и отходов абразивного производства, способствовало увеличению прочности на сжатие на 12 %, прочность при изгибе возросла на 36 %, термическая стойкость увеличилась в 3 раза. Модификация цементной матрицы однозамещенным ортофосфатом кальция в количестве 0,2 % от массы цемента способствовало росту термической стойкости бетона до 20 теплосмен (вода, 800 °С).

Опорные слова: строительные материалы, жаростойкий бетон, минеральные наполнители, модификация бетона, промышленные отходы

Annotatsiya. Ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirishning zamonaviy yo'llari qurilayotgan buyumlar sifatini kamaytirmasdan, qurilish sohasida energiyani tejashning dolzarb va istiqbolli yo'nalishi hisoblanadi. Portlandsementdagi issiqlikka chidamli betonlar texnologiyasida tsement toshiga mintaqaning mashinasozlik va metallurgiya tarmog'ining texnogen chiqindilari asosida yuqori temperaturadagi to'ldirgichdan foydalanish va matritsani modifikatsiyadan foydalaniladi. Issiqqa chidamli kompozitsiya tarkibida portlandsement yopishqoq tarkibida kremniy karbid va abraziv ishlab chiqarish chiqindilarining tsiklon changlari shaklidagi to'ldirgichdan foydalanish siqilish mustahkamligining 12 foizga oshishiga yordam berdi, bukilishdagi mustahkamlik 36 foizga oshdi, termik barqarshilik 3 barqaradi. Tsement matritsasini bir o'rnatilgan kaltsiy ortofosfati tomonidan 0,2% miqdorida modifikatsiya qilish betonning termik chidamliligini 20 ta issiqlik menmeniga (suv, 800 °С) oshirishga xizmat qildi.

Kalitlar so'zlar: qurilish materiallari, qishloq chidamli beton, mineral to'ldirgichlar, beton modifikatsiyasi, sanoat chiqindilari

строительной отрасли научно-технические задачи радикального снижения энергетических и тепловых потерь, материалоемкости конструкций, рациональное и эффективное использование всех видов ресурсов. Для насыщения строительного рынка сырьевыми материалами и готовой продукцией, конструкциями, особое внимание уделяется вопросам создания, развития, отечественных производств, что обусловлено текущими задачами импортозамещения. В этой связи промышленность огнеупоров не является исключением, несмотря на то, что производство футеровок тепловых агрегатов является наиболее сложной областью строительства. Поэтому вопросы высокотемпературной изоляции являются наиболее актуальными в части снижения объема энергетических потерь тепловых агрегатов машиностроительной отрасли, металлургии, керамической и химической промышленности.

Современная тенденция отечественного и мирового развития производства огнеупоров заключается во внедрении ресурсо- и энергосберегающих технологий, увеличение производства и потребления высокоэффективных неформованных огнеупоров, что сопровождается значительным сокращением обожженных огнеупорных изделий. Высокая стоимость зарубежных сырьевых материалов заметно удорожает конечную огнеупорную продукцию, а зачастую ограничивает ее использование, поэтому, главными направлениями в отечественном производстве огнеупоров являются разработка новых композиционных строительных материалов стойких к воздействию высоких температур, расширение их ассортимента при рациональном использовании природных ресурсов, отходов промышленных предприятий регионов [1, 2, 3]. Следует отметить, что замена мелкоштучной огнеупорной продукции эффективным футеровочным материалом на основе жаростойкого бетона в виде монолитных конструкций и крупных блоков, позволяет уменьшить трудовые затраты при строительстве тепловых агрегатов, повысить срок службы теплового агрегата, сократить срок строительства. Инвестиции в производства

10 Развитие экономики Российской Федерации на современном этапе ставит перед



строительной продукции на основе отходов промышленных предприятий практически всегда окупаются, а продукция является конкурентноспособной. Замена штучных огнеупорных материалов на жаростойкие бетонные композиции обеспечивает ускорение темпов строительства на 20-40%, уменьшение трудовых затрат в 2-3 раза, повышение срока службы и производительности тепловых агрегатов, уменьшение денежных затрат на текущий и капитальный ремонт.

Перспективным является направление совершенствования технологии изготовления жаростойких бетонов, разработки новых составов жаростойких композиций с использованием вторичных ресурсов в качестве вяжущего и заполнителя, не снижая при этом долговечность и качество выпускаемых строительных материалов [1-10]. Жаростойкий мелкозернистый бетон привлекает особое внимание производителей огнеупорной продукции, за счет улучшенной удобоукладываемости и формуемости изделий такой структуры. Эти свойства бетонных жаростойких композиций важны при изготовлении тонкостенных и густоармированных конструкций за счет высокой сопротивляемости растягивающим напряжениям. Недостатки мелкозернистого бетона, такие как повышенная водопотребность, значительный расход цемента, приводящий к увеличению усадки бетона, снижению трещиностойкости, устраняются модификацией цементной матрицы минеральными и органическими добавками. Актуальным был и остается вопрос использования вторичных материальных ресурсов в технологиях жаростойких бетонов на портландцементе, где жаростойкие свойства цементному камню придает не только модификация матрицы, но и как основное направление – использование высокотемпературного заполнителя на основе техногенных отходов машиностроительной и металлургической отрасли региона.

Для решения поставленных задач необходимо провести анализ существующей на сегодняшний момент степени научно-практической проработки ряда вопросов. Среди которых основными являются: оценка тенденций развития технологий производства жаростойких бетонов в РФ; определение диапазона стойкости бетонных композиций к воздействию высоких температур; оценка изменения прочности бетона, его структуры и состава при тепловом воздействии; определение возможности эксплуатации жаростойких композиций в условиях высокотемпературного нагрева - остывания в тепловых агрегатах различного назначения; оценка наличия сырьевой и производственной базы для изготовления жаростойких бетонов в РФ.

Обзор отечественных и зарубежных публикаций позволяет говорить о достаточно

ограниченной области применяемых в изготовлении жаростойких бетонов различных видов цемента, вяжущих на основе жидкого стекла, фосфатных вяжущих. Наиболее широким диапазоном использования отличаются цементные вяжущие вещества с различными добавками. Жаростойкие свойства цементному камню придает и высокотемпературный заполнитель и модифицированная матрица на основе портландцемента [4, 5, 6, 9]. Жаростойкие бетоны отечественного производства имеют недостаточно широкий ассортимент, расширение которого может быть реализовано путем исследований в области разработок новых перспективных жаростойких композиций. Замещение обычных традиционных бетонов многокомпонентными композиционными составами дает теоретические предпосылки разработки составов жаростойких бетонов с оптимальной микроструктурой цементного камня, повышенной трещиностойкостью, упрочненной зоной контакта цементного камня и наполнителя, повышенной прочностью и долговечностью [1, 7, 10]. Замещение обычных традиционных бетонов многокомпонентными композиционными составами дает теоретические предпосылки разработки составов жаростойких бетонов с оптимальной микроструктурой цементного камня, повышенной трещиностойкостью, упрочненной зоной контакта цементного камня и наполнителя, повышенной прочностью и долговечностью. Такой эффект достижим при наиболее полном использовании энергии вяжущих веществ, в т.ч. и портландцемента, введением в составы композиций химических модификаторов направленного действия, высокодисперсных добавок техногенной природы, интенсификации технологии производства строительных композиций [1, 10].

Важным при эксплуатации огнеупоров, является сохранение их стойкости при частых остановках тепловых агрегатов из-за отсутствия заказов на продукцию, отключения топлива, периодичностью процесса плавки и требованиями технологии и т.д. В этом случае необходимо поддерживать температуру в печном пространстве, сохраняя огнеупоры от разрушения, или отключать подачу топлива полностью с последующим охлаждением футеровки. При повторяющемся нагреве – охлаждении футеровка приходит в состояние непригодное для повторного или многократного использования. Проблема может быть решена путем создания принципиально новых конструкций футеровок с использованием современных достижений в области технологий жаростойких бетонов. Затраты на подобные разработки быстро окупятся за счет экономии топливно-энергетических, материальных и других ресурсов. Разработка новых составов жаростойких бетонов на портландцементе не



потеряла своего значения и сейчас, так как стоимость этого вяжущего в 6-10 раз ниже стоимости глиноземистого (алюминатного) цемента [9, 10, 11-20].

Научно-практический интерес представляет разработка составов жаростойких композиций с использованием в качестве высокотемпературного заполнителя побочных и сопутствующих продуктов производства карбида кремния (SiC) и отходов производства абразивного инструмента на керамической связке. В качестве связующего вещества предлагается использовать портландцемент, модифицированный двойным суперфосфатом в присутствии пластификатора.

В качестве высокотемпературного заполнителя жаростойких композиций использовались побочные и сопутствующие продукты производства карбида кремния (SiC) в виде аморфа (SiC более 70 %), сростков (SiC 40-70 %), силоксикона (SiC 20-40 %), технологических хвостов дробильно-рассеивального передела, фракция карбида кремния 1,0-0,8 мм (SiC 96-95%), циклонной пыли (SiC 92-90%) установок аспирации воздуха производственных помещений. По гранулометрическому составу пыль является фракцией частиц карбида кремния 0,04 мм (табл.

1). Материал с низким содержанием карбида кремния не только не потерял своих свойств, пройдя технологические переделы производства, но и стал более подготовленным с позиции зернового состава и большой удельной поверхности для использования в технологии бетона в качестве наполнителей. При этом постоянство состава материала SiC, его высокая термостойкость, устойчив к воздействию большинства кислот и щелочей и т.д. присуще всем перечисленным отходам и побочным продуктам производства.

Отходы производства абразивного инструмента на керамической связке представляют собой композиционный материал (SiC – 10 %, Al₂O₃ – 80 %, керамическая связка 10 %, в т.ч. Fe₂O₃ -0,3 %, Al₂O₃ -3,5%, SiO₂ - 5,5 %, MgO + CaO - 0,7%), получаемый механическим измельчением с помощью помольного оборудования (мельницы, дробилки) брака готовой продукции. Порошкообразный материал отходов, с размером частиц менее 0,04 мм, образуется за счет механической доводки абразивного инструмента до нормативных геометрических размеров, заточке и пр. Насыпной вес материала находится в диапазоне от 1,86 до 2,68 г/см³ [12, 13, 14].

Таблица 1

Вещественный состав техногенных материалов карбида кремния

Наименование материала	Определяемый компонент, %						
	C		Fe ₂ O ₃	Si	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
1.Карбид кремния, фракция менее 500 мкм	0,07	93,9	0,64	0,79	0,25	0,20	4,11
2.Сростки карбида кремния, фракция менее 1000 мкм	15,6	42,8	0,40	3,59	1,58	0,59	35,3
3.Карбид кремния фракции менее 50 мкм	17,1	72,6	0,45	менее 0,3	0,24	0,10	8,7
4.Карбид кремния фракция менее 800 мкм	0,05	96,4	0,85	0,3	0,35	0,69	1,35
5.Карбид кремния, циклонная пыль, фракция менее 40 мкм	0,20	72,1	1,4	3,5	2,7	1,1	13,4

Таблица 2

Физико-механические характеристики образцов бетона, наполненных отходами производства карбида кремния

№ состава композиции, наполнитель SiC (табл. 1) 30% от массы цемента	Средняя плотность образцов, кг/м ³	Предел прочности на сжатие в возрасте 28 сут., МПа	Предел прочности при изгибе в возрасте 28 сут., МПа	Термическая стойкость (вода, 800 °С)
1	2262	22,96	10,3	7
2	2250	21,87	8,97	5
3	2259	22,58	10,2	7
4	2248	22,05	9,86	5
5	2341	33,06	11,5	10
контрольный	2239	20,49	7,3	2



Возможность использования и эффективность действия материалов карбидокремниевых микронаполнителей в составах бетона базируется на испытаниях эталонного состава бетона при фиксированном содержании минеральной добавки в цементе (табл. 2) [12, 13, 14].

Испытывались образцы бетона (70x70x70) на портландцементе марки ЦЕМ I 42,5Н (производитель ОАО "Себряковцемент"), песка кварцевого фр. 1,5-2,0 мм, дисперсных материалов SiC (табл. 1), В/Ц 0,55, суперпластификатор С-3. Результаты представлены в табл. 2. Максимальный прирост физико-механических характеристик показали образцы, наполненные циклонной пылью SiC (5 табл. 1). Увеличение прочности на сжатие составило 38 %, прочности при изгибе – 47 %. Термическая стойкость увеличилась в 5 раз. Эффективность использования огнеупорных тонкомолотых микронаполнителей в составах жаростойких бетонов во многом зависит от физико-химических свойств этих добавок [12, 14-20, 21].

Повышение жаростойких свойств портландцементного вяжущего вещества предлагается решить введением в состав цементной композиции однозамещенного ортофосфата кальция. Выбор в качестве добавки к портландцементу однозамещенного ортофосфата кальция (двойной суперфосфат) обоснован вопросами техники безопасности и экологии при использовании ортофосфорной кислоты и ее солей для придания цементным композициям жаростойких свойств [11, 22]. В качестве пластифицирующей добавки использовался 4 % - ный водный раствор поливинилового спирта. Однозамещенный ортофосфат кальция (двойной суперфосфат) вводился в состав бетонной композиции в количестве 0,2 % от массы цемента. Термическая стойкость испытываемых составов повысилась до 20 теплосмен (вода, 800 °С) [14, 20, 21, 22].

Таким образом, введение в составы композиций на портландцементе высокотемпературных наполнителей и заполнителей на основе отходов промышленной предприятий машиностроительной отрасли способствует повышению жаростойких свойств цементного камня. Предварительные испытания образцов композиции дали положительные результаты в части повышения жаростойких свойств мелкозернистого бетона на портландцементе.

Литература

[1]. Тарасов Р.В., Макарова Л.В., Калинина В.А. Анализ состояния производства жаростойких композиционных материалов // Современные научные исследования и

инновации. 2015. № 2. Ч. 1 [Электронный ресурс]. URL:<http://web.snauka.ru/issues/2015/02/46518> (дата обращения: 08.06.2018).

[2]. Experimental analysis of SiC-based refractory concrete in hybrid rocket nozzles [Text] / Raffaele D'Elia [et al.] // Acta astronautica. – 2016. – Vol. 126. special issue: SI. – P. 168-177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.04.034>.

[3]. Prud'homme, E. Use of silicon carbide sludge to form porous alkali-activated materials for insulating application [Text]/E. Prud'homme, E. Joussein, S. Rossignol //European physical journal-special topics. – 2015. – Vol. 224, issue 9. – P. 1725-1735. doi: 10.1140/epjst/e2015-02494-7.

[4]. Shamsad, A. Effects of key factors on compressive and tensile strengths of concrete exposed to elevated temperatures [Text] / A. Shamsad, Y. S. Sallam; M. A. Al-Hawas // Arabian journal for science and engineering. - 2014. – Vol. 39, issue 6. – P. 4507-4513. doi:10.1007/s13369-014-1166-8

[5]. Некрасов, К.Д. Жаростойкий бетон с использованием отходов промышленности [Текст] / К.Д. Некрасов, А.П. Тарасова //Бетон и железобетон. – 1974. – №4. – С. 15-16.

[6]. Hlystov, A. I. Efficiency improvement of heat-resistant concrete through the use of sludge technogenic raw material [Text] / A. I. Hlystov, V. A. Shirokov, A. V. Vlasov // Procedia Engineering. - 2015. – Vol. 111. – P. 290-296. doi:10.1016/j.proeng.2015.07.091.

[7]. Калашников, В.И. Новый жаростойкий материал для футеровки промышленных печей [Текст] / В.И. Калашников, В.Л. Хвастунов, Р.В. Тарасов, Д.В. Калашников // Строительные материалы. – 2003. – №11. – С.40-42.

[8]. Development and characterization of self-sensing CNF HPRCC [Text] / D. K. Hardy, [et al.] // Materials and structures. – 2016. – Vol. 49, issue 12. – P. 5327-5342. doi: 10.1617/s11527-016-0863-z

[9]. Русина, В.В. Жаростойкие бетоны с использованием техногенного сырья [Текст] / В. В. Русина // Строительные материалы. 2013. - №1. - С. 12-14.

[10]. Войлоков, И.А. Перспективы развития новых видов бетона в РФ [Текст] / И. А. Войлоков // СтройПРОФиль. 2010. - №2(80). - С. 13-15.

[11]. Баженов, Ю. М. Технология бетона [Текст]: учеб. / Ю. М. Баженов. – Москва : Изд-во АСВ, 2011. - 528 с.

[12]. Акчурин, Т.К. Использование местных нетрадиционных вторичных ресурсов в технологиях строительных композитов [Текст]: монография / Т.К. Акчурин, О.Ю. Пушкарская. - Волгогр. гос. техн. ун-т. - Волгоград: ВолгГТУ, 2018. – 216 с.

[13]. Губанова, Л.Н. Исследование возможности придания жаростойких свойств высоконаполненному мелкодисперсному бетону путем введения отходов производства карбида кремния [Текст]/ Л. Н. Губанова, О. Ю.



Пушкарская // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. :
Политематическая. - 2013. - №2 (27). - С. 1-4.
URL:

[http://vestnik.vgasu.ru/attachments/GubanovaPushkarskaya-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/GubanovaPushkarskaya-2013_2(27).pdf)

[14]. Tukhareli, V.D., Cherednichenko, T.F., Pushrarskaya. O.Y. Unconventional additives in concrete technology for expansion its functionality, Solid State Phenomena. 2017. Т. 265 SSP. С. 231-236.

[15]. Батрашов, В. М. Разработка и исследование высокотемпературной матрицы для жаростойкого поризованного материала / В. М. Батрашов, Ч. Г. Пак // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. –2012. – № 4 (24). – С. 112–119.

[16]. Tukhareli, V.D., Pushrarskaya. O.Y., Tukhareli A.V. Methodological Approaches in Assessing the Possibility of Using Waste Electrocorundum Materials in Concrete Compositions, Solid State Phenomena Submitted: 2018-07-02 ISSN: 1662-9779, Vol. 284, pp 1030-1035 Accepted: 2018-07-02 doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.284.1030

[17]. Суворов, С. А. Современные проблемы производства огнеупорных материалов для металлургической промышленности / С. А.

Суворов // Новые огнеупоры. – 2002. – № 3. – С. 38–45.

[18]. Powder Diffraction File. Data cards. Inorganic section. Sets 1-34. JCPDS. Swarthmore, USA, 1948–1984.

[19]. Абызов, В. А. Ячеистые жаростойкие бетоны на фосфатном вяжущем и заполнителях из кремнеграфитовых и алюмохромсодержащих промышленных отходов / В. А. Абызов, Ч. Г. Пак, В. М. Батрашов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2011 – № 11/12. – С. 27–29.

[20]. Гнедаш, Е.Е. Состояние и перспективы развития технологий жаростойких композиционных материалов / Гнедаш Е.Е., А.К. Аккурин, И.В. Стефаненко // Известия ВолгГТУ. – 2018 - №9 (219). – С. 56-61.

[21]. V.D. Tukhareli, T.F. Cherednichenko, O.Y. Pushrarskaya New Unconventional Additives in Concrete Technology for Expansion its Functionality, Solid State Phenomena, Vol. 265 : Materials Engineering and Technologies for Production and Processing III, Ed. by Andrey Radionov, [Trans Tech Publications, Switzerland], 2017, pp. 231-236. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.265.231

[22]. Патент 2169130 РФ, ПМК С04В35/057 Масса для формирования основных огнеупоров/А. В. Гропянов, В.М. Гропянов, С.Л. Кабаргин; опубл. 20.06.2001, Бюл. № 26. 4с