А. Ю. Конопляник /к. т. н./

Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры, г. Днепро,
Украина

И. М. Ильев /к. т. н./

Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры, г. Днепр, Украина
e-mail: konoplyanik@list.ru; Ilyev.ilya@gmail.com

Исследование характеристик жаростойких бетонов с добавками вспученного перлитового песка

A. Yu. Konoplianyk /Cand. Sci. (Tech.)/

Pridneprovskaya State Academy of Civil
Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine

I. M. Iliev /Cand. Sci. (Tech.)/

Pridneprovskaya State Academy of
Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine
e-mail: konoplyanik@list.ru; Ilyev.ilya@gmail.com

Research of characteristics of heat-resistant concretes with additives of exfoliated perlite sand

Цель. Исследование характеристик жаростойких бетонов для применения в тепловых агрегатах и строительных конструкциях.

Методика. По стандартным методикам исследованы физико-механические, огневые и теплофизические характеристики жаростойких бетонов с добавками перлитового песка.

Результаты. Составы жаростойких бетонов с добавками перлитового песка в количестве 0,1–1,8 % могут быть использованы для изготовления тонкостенных футеровок металлургических агрегатов и конструкций, а также для изготовления строительных конструкций, устойчивых к действию пожара.

Научная новизна. Установлено влияние небольшого количества добавок перлитового песка на физико-механические, огневые и теплофизические характеристики жаростойких бетонов.

Практическая значимость. Полученные жаростойкие бетоны с добавками вспученного перлитового песка обеспечивают высокие физико-механические, огневые и теплофизические характеристики, устойчивые к действию высоких температур и пожара. (Ил. 4. Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.)

Ключевые слова: жаростойкий бетон, вспученный перлитовый песок, добавка, образцы, свойства бетона.

DOI: 10.33101/s001-150002091

Постановка проблемы. Ранее установлено положительное влияние небольшого количества добавок вспученного перлитового песка на технологические характеристики огнеупорных смесей [1]. Введение в состав смеси перлитового песка в количестве 0,1–1,8 % [1, табл. 1, 2] позволяет одновременно улучшить ее удобоукладываемость и структурную прочность и тем самым качество монолитных футеровок тепловых агрегатов и конструкций.

Учитывая влияние на бетон высоких температур, наряду с технологическими характеристиками огнеупорных смесей, необходимо знать их физико-механические, огневые и теплофизические характеристики.

Цель. Исследование физико-механических, огневых и теплофизических характеристик жа-

ростойких бетонов с добавками вспученного перлитового песка.

Изложение основного материала. Методика исследования. Исследовали такие характеристики жаростойких бетонов, как кажущаяся плотность, открытая пористость, прочность после нагрева до температур 100–1000 °С, температура деформации под нагрузкой, термическая стойкость и коэффициент теплопроводности.

Составы огнеупорных смесей и технология их изготовления приведены в [1, с. 56–57].

Кажущуюся плотность и открытую пористость жаростойких бетонов определяли по ГОСТ 2409-95 (ИСО 5017-88).

Предел прочности при сжатии в охлажденном состоянии после нагрева до температур 100–1000 °С, термическую стойкость после на-

грева до температур 800 °С и охлаждения до 20 °С, а также температуру деформации под нагрузкой 0,2 МПа определяли по ГОСТ 20910-90.

Теплопроводность жаростойких бетонов определяли методом полого цилиндра [2, с. 7–16] путем измерения установившегося теплового потока, проходящего через единицу поверхности исследуемого образца в единицу времени при определенном температурном градиенте.

Образцы испытываемых бетонов изготавливали:

- в форме кубов 100×100×100 мм для определения прочности при сжатии;
- в форме кубов 70×70×70 мм для определения термической стойкости;
- цилиндров высотой 50 мм и диаметром 36 мм для определения деформации под нагрузкой;
- кубов 50×50×50 мм для определения кажущейся плотности и открытой пористости;
- полых цилиндров с внутренним диаметром 26 мм, наружным – 75 мм и высотой 67 мм для определения коэффициента теплопроводности.

На рис. 1 приведены показатели кажущейся плотности и открытой пористости жаростойких бетонов в зависимости от содержания в смеси перлитового песка.

Как видно из рис. 1, кажущаяся плотность жаростойкого бетона с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201 минимально отличается от кажущейся плотности бетона с тонкомолотой добавкой из дистенсиллиманитового концентрата. Характеры кривых изменений кажущейся плотности обоих типов бетонов практически не отличаются друг от друга и зависят от содержания в смеси вспученного перлитового песка. С увеличением в составе смеси содержания перлитового

песка кажущаяся плотность обоих составов уменьшается. При содержании в составах перлитового песка в количестве 0,1 % кажущаяся плотность бетонов составляет 1,97 и 1,95 г/см³, а увеличение содержания песка до 1,8 % приводит к уменьшению кажущейся плотности обоих составов до 1,76 г/см³.

Открытая пористость обоих составов повышается с увеличением содержания в смеси перлитового песка во всем исследуемом интервале. Следует отметить более высокие показатели открытой пористости при использовании тонкомолотой добавки из катализатора ИМ-2201. Так, при увеличении содержания перлитового песка до 1,8 % открытая пористость состава с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201 повышается до 25,9 %, а у состава с тонкомолотой добавкой из дистенсиллиманитового концентрата повышается только до 23,6 %.

На рис. 2, 3 приведены кривые изменения прочности жаростойких бетонов при сжатии в зависимости от содержания в смеси перлитового песка и температуры нагрева.

Как видно из рис. 2, прочность жаростойких бетонов с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201 с увеличением содержания перлитового песка уменьшается во всем исследуемом интервале. Наибольшую прочность имеют все составы бетонов после нагрева до температур 1000 °С. При этом прочность бетона без добавки перлитового песка составляет 32,0 МПа, а увеличение добавки до 1,8 % приводит к ее снижению до 19,5 МПа.

Как видно из рис. 3, характер изменения прочности жаростойких бетонов с тонкомолотой добавкой из дистенсиллиманитового концентрата аналогичен характеру изменения прочности бетонов с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201. Следует отметить более высокие показатели прочности жаростойких бетонов с добавкой из дистенсиллиманитового концентрата. При этом прочность бетона без добавки перлитового песка составляет 36,0 МПа, а увеличение

Рис. 1. Кажущаяся плотность и открытая пористость жаростойких бетонов:

- а – кажущаяся плотность, б – открытая пористость;
- 1 – с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201;
- 2 – с тонкомолотой добавкой из дистенсиллиманитового концентрата

Рис. 2. Прочность при сжатии жаростойких бетонов с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201 после нагрева до температур:

1 – без добавки перлитового песка; 2 – с содержанием перлитового песка 0,1 %; 3 – с содержанием перлитового песка 0,7 %; 4 – с содержанием перлитового песка 1,1 %; 5 – с содержанием перлитового песка 1,5 %; 6 – с содержанием перлитового песка 1,6 %; 7 – с содержанием перлитового песка 1,7 %; 8 – с содержанием перлитового песка 1,8 %

Рис. 3. Прочность при сжатии жаростойких бетонов с тонкомолотой добавкой из дистенсиллиманитового концентрата после нагрева до температур:

1 – без добавки перлитового песка; 2 – с содержанием перлитового песка 0,1 %; 3 – с содержанием перлитового песка 0,7 %; 4 – с содержанием перлитового песка 1,1 %; 5 – с содержанием перлитового песка 1,5 %; 6 – с содержанием перлитового песка 1,6 %; 7 – с содержанием перлитового песка 1,7 %; 8 – с содержанием перлитового песка 1,8 %

добавки до 1,8 % приводит к ее снижению до 19,9 МПа.

Температура деформации под нагрузкой и термическая стойкость жаростойких бетонов приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, температура деформации под нагрузкой жаростойких бетонов снижается во всем исследуемом интервале с увеличением в составах содержания вспученного перлитового песка. Следует отметить значительно более высокую температуру деформации жаростойких бетонов с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201, которая на 50–70 °C превышает аналогичную температуру бетонов с тонкомолотой добавкой из дистенсиллиманитового концентрата. Так, температура 4%-й деформации под нагрузкой у исходного состава бетона без песка с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201 составляет 1335 °C, что на 70 °C выше аналогичной температуры у бетона с тонкомолотой добавкой из дистенсиллиманитового концентрата. Введение в состав бетона перлитового песка в количестве 1,8 % значительно снижает температуру 4%-й деформации до 1240 °C и 1170 °C у бетонов с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201 и дистенсиллиманитового концентрата соответственно.

Термическая стойкость жаростойких бетонов до появления открытых трещин с увеличением содержания в составах перлитового песка снижается с 28 до 21 теплосмены у бетонов с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201 и с 30 до 25 теплосмен у бетонов с тонкомолотой добавкой из дистенсиллиманитового концентрата. Следует отметить, что после 40 теплосмен образцы всех исследуемых составов не разрушились, что свидетельствует об их высокой термической стойкости.

На рис. 4 приведена зависимость коэффициента теплопроводности от содержания в составах вспученного перлитового песка.

Как видно из рис. 4, коэффициент теплопроводности жаростойких бетонов снижается во всем исследуемом интервале по мере увеличения

Температура деформации под нагрузкой и термическая стойкость жаростойких бетонов

№ составов по [1, табл. 1, 2]	Содержание перлитового песка	Тонкомолотая добавка	Температура деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °С			Термическая стойкость (800↔20 °С), воздушные теплосмены	
			Начало размягчения	4%-я деформация	40%-я деформация	До появления открытых трещин	До разрушения
1	–	Катализатор ИМ-2201	1310	1335	1360	28	После 40 теплосмен образцы сохранились
2	0,1		1280	1300	1335	28	
3	0,7		1250	1280	1310	25	
4	1,1		1240	1265	1230	25	
5	1,5		1230	1250	1270	22	
6	1,6		1225	1250	1270	22	
7	1,7		1220	1240	1265	21	
8	1,8		1215	1240	1250	21	
13	–	Дистенсилиманитовый концентрат	1250	1265	1310	30	После 40 теплосмен образцы сохранились
14	0,1		1240	1260	1290	30	
15	0,7		1200	1235	1260	28	
16	1,1		1190	1220	1240	27	
17	1,5		1170	1195	1220	26	
18	1,6		1160	1180	1200	26	
19	1,7		1160	1170	1190	25	
20	1,8		1155	1170	1180	25

Рис. 4. Коэффициент теплопроводности жаростойких бетонов:

а – с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201; б – с тонкомолотой добавкой из дистенсилиманитового концентрата; 1 – при температуре 400 °С; 2 – при температуре 600 °С

содержания в составах перлитового песка. Так, составы жаростойких бетонов без добавки перлитового песка при температуре нагрева до 600 °С имеют коэффициент теплопроводности 1,1 и 1,06 Вт/м·К, а с добавкой перлитового песка 1,8 % этот коэффициент равен 0,84 и 0,79 Вт/м·К у бетонов с тонкомолотой добавкой из катализатора ИМ-2201 и дистенсилиманитового концентрата соответственно. Таким образом, за счет введения в состав бетонов добавок перлитового песка можно добиться повышения теплоизолирующей способности бетона в 1,31–1,34 раза.

Полученные в результате исследований характеристики жаростойких бетонов позволяют

говорить также об их устойчивости к действию пожара, который, по сведению авторов [3, с. 5], происходит при температурах 1000–1200 °С в жилых, общественных, административных и промышленных зданиях. В этом случае при применении исследуемых жаростойких бетонов с добавками перлитового песка вполне реально обеспечить существующие пределы огнестойкости конструкций [4], такие как несущая способность (R), целостность (E) и теплоизолирующая способность (I).

Выводы и перспектива развития направления. В результате проведенных исследований жаростойких бетонов, полученных из огнеупорных

смесей улучшенной технологичности, установлены их физико-механические, огневые и теплофизические характеристики. Жаростойкие бетоны с добавками вспученного перлитового песка в количестве 0,1–1,8 % могут быть использованы для изготовления тонкостенных футеровок металлургических агрегатов и конструкций, а также для изготовления строительных конструкций, устойчивых к действию пожара.

Библиографический список / References

1. Конопляник А. Ю. Влияние вида добавок на технологические характеристики огнеупорных смесей / А. Ю. Конопляник, И. М. Ильев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2018. – № 1. – С. 55–58.

Konoplyanik A. Yu., Ilyev I. M. Vliyaniye vida dobavok na tekhnologicheskiye kharakteristiki ogneupornykh smesey. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost [Metallurgical and mining industry]. 2018, no. 1, pp. 55–58.

2. Пустовалов Е.Е. Теплопроводность огнеупоров / Е. Е. Пустовалов. – М.: Металлургия, 1966. – 158 с.

Pustovalov E. E. Teploprovodnost ogneuporov [Thermal Conductivity of Refractories]. Moscow, Metallurgiya. – 158 p.

3. Милованов А. Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций / А. Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.

Milovanov A. F. Ognestoykost zhelezobetonnykh konstruksiy [Fire Resistance of Reinforced Concrete Structures]. Moscow, Sroyizdat, 224 p.

4. ДБН В.1.1-7-2002. Защита от пожара. Пожарная безопасность объектов строительства. – К.: Госстрой Украины, 2003. – 44 с.

DBN V.1.1-7-2002. Zashchita ot pozhara. Pozharnaya bezopasnost obyektov stroitelstva [Fire Protection. Fire Safety Facilities Construction]. Kiev, Gosstroy Ukrainy. 2003, 44 p.

Мета. Дослідження характеристик жаростійких бетонів для застосування в теплових агрегатах і будівельних конструкціях.

Методика. За стандартними методиками досліджено фізико-механічні, вогневі та теплофізичні

характеристики жаростійких бетонів з добавками перлітового піску.

Результати. Склади жаростійких бетонів з добавками перлітового піску в кількості 0,1–1,8 % можуть бути використані для виготовлення тонкостінних футеровок металургійних агрегатів і конструкцій, а також для виготовлення будівельних конструкцій, стійких до дії пожежі.

Наукова новизна. Встановлено вплив невеликої кількості добавок перлітового піску на фізико-механічні, вогневі та теплофізичні характеристики жаростійких бетонів.

Практична значущість. Отримані жаростійкі бетони з добавками спученого перлітового піску забезпечують високі фізико-механічні, вогневі та теплофізичні характеристики, стійкі до дії високих температур і пожежі.

Ключові слова: жаростійкий бетон, спучений перлітовий пісок, добавка, зразки, властивості бетону.

Purpose. A research of characteristics of heat-resistant concrete for application in thermal units and building constructions.

Methodology. By standard techniques physicomachanical, fire and heatphysical characteristics of heat-resistant concrete with additives of perlitovy sand are investigated.

Findings. Compositions of heat-resistant concrete with additives of perlitovy sand in number of 0,1–1,8 % can be used for production of thin-walled linings of metallurgical units and designs and also for production of the building constructions steady against fire action.

Originality. Influence of a small amount of additives of perlitovy sand on physicomachanical, fire and heatphysical characteristics of heat-resistant concrete is established.

Practical value. The received heat-resistant concrete with additives of vspuchenny perlitovy sand provide the high physicomachanical, fire and heatphysical characteristics steady against action of high temperatures and the fire.

Key words: heat-resistant concrete, expanded perlite sand, additive, samples, properties of concrete.

Рекомендована к публикации
к. т. н. А. А. Сигуновым

Поступила 05.02.2019