

*Д-р техн. наук В. В. Примаченко,  
канд. техн. наук В. В. Мартыненко,  
канд. техн. наук Л. А. Бабкина,  
канд. техн. наук Л. Н. Солошенко, Л. М. Щербак, Т. Г. Тишина  
(ПАО «УКРНИИ ОГНЕУПОРОВ ИМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»,  
г. Харьков, Украина)*

## **Исследование влияния температуры окружающей среды на свойства глиноземсодержащих бетонных смесей и образцов из них, содержащих комплексную добавку с противоморозным эффектом**

### **Введение**

В условиях развития технологий, направленных на интенсификацию металлургических процессов (повышение рабочих температур, ускорение процессов плавки и другие факторы), актуальными являются вопросы дальнейшего совершенствования высококачественных огнеупорных материалов, в том числе и огнеупорных бетонов [1—4].

Согласно [5—7], качество огнеупорных бетонов в значительной степени зависит от температурных условий изготовления и выдержки бетона, так как температура окружающей среды влияет на скорость их гидратации и нарастания прочности. По данным [5; 6] твердение гидравлических вяжущих при температуре ниже 15 °С происходит менее интенсивно. По [8] нормальное схватывание и твердение бетона происходит при температуре 15—20 °С. Однако по условиям работы на многих предприятиях не везде представляется возможным создать такие температурные условия на протяжении всего цикла работ по приготовлению бетонов и изготовлению футеровок с их использованием.

В 2012 году компанией «Полипласт» институту была предложена комплексная пластифицирующая добавка с противоморозным эффектом Кривопласт СП 15-1, которая вводится в состав бетонных смесей для работы в условиях неотопливаемых помещений.

В этой связи представляло интерес исследование влияния температуры окружающей среды на свойства корундовой,

муллитокорундовой и шамотной бетонных смесей и образцов из них, содержащих комплексную пластифицирующую добавку с противоморозным эффектом Криопласт СП 15-1.

В настоящей статье изложены результаты этих исследований.

### Экспериментальная часть

Для проведения исследований в лабораторных условиях ПАО «УКРНИИО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» были изготовлены образцы из опытных бетонов. Для их приготовления использовали следующие сырьевые материалы: электроплавленный корунд собственного производства; нормальный электроплавленный корунд марки 14 А по ТУ У 3.02-00222226-016-96 с изм. № 1 производства ПАО «Запорожский абразивный комбинат»; шамот (каолин кальцинированный) марки ШК-40 по ТУ У 347-00191916-001:2005 производства ОАО «Ватутинский комбинат огнеупоров»; глинозем марки ГК-1 по ГОСТ 30559—98 производства ОАО «Бокситогорский глиноземный завод» (Россия); высокоглиноземистый цемент марки ВГЦ-73 по ТУ У 26.2-00190503-337:2010 собственного производства и комплексную пластифицирующую добавку с противоморозным эффектом Криопласт СП 15-1 по ТУ 5870-008-58042865-2008 производства компании «Полипласт».

В качестве крупнозернистой составляющей бетонных смесей использовали белый электроплавленный корунд (корундовая смесь), шамот (каолин кальцинированный) марки ШК-40 (муллитокорундовая и шамотная смеси). Тонкозернистая составляющая корундовой и муллитокорундовой смесей представлена нормальным корундом, а шамотной — каолином кальцинированным. Бетонные смеси для исследований получали смешением вышеуказанных материалов в лабораторной мешалке планетарного типа. Для затворения использовали водопроводную воду питьевого качества в количестве, обеспечивающем получение необходимой консистенции.

Состав шихт исследуемых смесей для изготовления образцов представлен в табл. 1.

Температура воздуха при приготовлении бетонов из шихт 1, 4 и 7, образцов из них и их твердения составляла 15—20 °С. Приготовление бетонов из шихт 2, 3, 5, 6, 8, и 9, образцов из них и их твердение осуществляли в условиях отрицательных температур (–6 °С).

Таблица 1

## Состав шихт исследуемых смесей для изготовления образцов

Наименование материала	Номер шихты								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Корундовая бетонная смесь	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Муллитокорундовая бетонная смесь	-	-	-	+	+	+	-	-	-
Шамотная бетонная смесь	-	-	-	-	-	-	+	+	+
Комплексная пластифицирующая добавка с противоморозным эффектом Крнопласт СП 15-1	-	-	+	-	-	+	-	-	+

Для проведения исследований зависимости растекаемости при вибрации бетонов опытных составов от температурных условий их смешения использовали методику EN 1402-4: 2003 (E) [9] определения консистенции бетонов для неформованных огнеупорных материалов.

Лабораторные образцы (кубы с ребром 40 мм) готовили методом вибророльного в разборных металлических формах. Образцы бетона после твердения сушили при температуре 110 °С (2 ч), а затем термообработывали при различных температурах (1100, 1350, 1450 °С) в лабораторной муфельной печи с выдержкой при конечной температуре в течение 5 ч.

Определение свойств образцов осуществляли согласно стандартам Украины по утвержденным методикам: предел прочности при сжатии — в соответствии с ГОСТ 4071.1—94 (ISO 10059-1-92); открытую пористость и кажущуюся плотность — по ГОСТ 2409—95; изменение линейных размеров (усадка или рост) образцов — путем замера до и после термообработки.

## Результаты и их обсуждение

Водопотребность и растекаемость бетонных смесей опытных составов представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Водопотребность и растекаемость бетонных смесей опытных составов

Наименование свойств	Номер шихты								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Водопотребность, %	8,0	8,5	7,0	8,0	8,5	7,5	8,5	9,0	7,0
Растекаемость, %	96	92	104	90	85	101	80	75	90

Как видно из приведенных в табл. 2 данных, водопотребность бетонных смесей без добавки Криопласт СП 15-1 (шихты 1, 4, 7) при смешении в условиях отрицательных температур ( $-6^{\circ}\text{C}$ ) несколько выше, а растекаемость ниже, чем у этих же смесей при положительных температурах ( $15-20^{\circ}\text{C}$ ). Наличие в составе смесей комплексной пластифицирующей добавки Криопласт СП 15-1, при смешении в условиях отрицательных температур ( $-6^{\circ}\text{C}$ ), позволяет снизить водопотребность в 1,2 раза и повысить их растекаемость в 1,2 раза по сравнению с аналогичными бетонами без добавки.

Свойства образцов из бетонов опытных составов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства образцов из бетонов опытных составов

Наименование свойств	Показатели свойств для образцов из шихт								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предел прочности при сжатии, $\text{H}/\text{мм}^2$ , после сушки при температуре $110^{\circ}\text{C}$	46,0	32,0	45,0	48,0	35,0	47,0	37,0	26,0	35,0
Свойства образцов после термообработки при температуре $1450^{\circ}\text{C}$ :									
предел прочности при сжатии, $\text{H}/\text{мм}^2$	40,0	35,0	43,0	—	—	—	—	—	—
открытая пористость, %	28,4	29,4	28,0	—	—	—	—	—	—
кажущаяся плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	2,72	2,70	2,77	—	—	—	—	—	—
линейная усадка, %	0,33	0,28	0,10	—	—	—	—	—	—
Свойства образцов после термообработки при температуре $1100^{\circ}\text{C}$ :									
предел прочности при сжатии, $\text{H}/\text{мм}^2$	—	—	—	37,0	32,0	38,0	—	—	—
открытая пористость, %	—	—	—	24,2	24,6	23,8	—	—	—
кажущаяся плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	—	—	—	2,42	2,40	2,43	—	—	—
линейная усадка, %	—	—	—	0,23	0,38	0,34	—	—	—
Свойства образцов после термообработки при температуре $1350^{\circ}\text{C}$ :									
предел прочности при сжатии, $\text{H}/\text{мм}^2$	—	—	—	—	—	—	27,0	22,0	28,0
открытая пористость, %	—	—	—	—	—	—	21,9	22,3	21,0
кажущаяся плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	—	—	—	—	—	—	2,12	2,11	2,13
линейная усадка, %	—	—	—	—	—	—	0,74	0,51	0,34

Из табл. 3 видно, что после твердения в условиях отрицательных температур ( $-6^{\circ}\text{C}$ ) прочность образцов из корундового, муллитокорундового и шамотного бетонов без добавки Криопласт СП 15-1 (шихты 2, 5, 8) после сушки при температуре  $110^{\circ}\text{C}$  составила  $\sim 70,0\%$  от прочности этих же бетонов, твердеющих при температуре  $15-20^{\circ}\text{C}$  (32,0, 35,0 и 26,0 Н/мм<sup>2</sup> против 46,0, 48,0 и 37,0 Н/мм<sup>2</sup> соответственно). При введении в смеси комплексной пластифицирующей добавки Криопласт СП 15-1 (шихты 3, 6 и 9) после твердения в условиях отрицательных температур ( $-6^{\circ}\text{C}$ ) прочность образцов практически равна прочности этих же бетонов, твердеющих при температуре  $15-20^{\circ}\text{C}$  (45,0, 47,0 и 35,0 Н/мм<sup>2</sup> против 46,0, 48,0 и 37,0 Н/мм<sup>2</sup> соответственно).

Прочность образцов из корундового, муллитокорундового и шамотного бетонов без добавки, твердеющих в условиях отрицательных температур ( $-6^{\circ}\text{C}$ ), после термообработки составила  $\sim 85,0\%$  от прочности этих же бетонов, твердеющих при температуре  $15-20^{\circ}\text{C}$  (35,0, 32,0 и 22,0 Н/мм<sup>2</sup> против 40,0, 37,0 и 27,0 Н/мм<sup>2</sup> соответственно — шихты 2, 5, 8). Прочность же термообработанных образцов из корундового, муллитокорундового и шамотного составов, содержащих добавку Криопласт СП 15-1, несколько выше прочности этих же бетонов, твердеющих при температуре  $15-20^{\circ}\text{C}$  (43,0, 38,0 и 28,0 Н/мм<sup>2</sup> против 40,0, 37,0 и 27,0 Н/мм<sup>2</sup> соответственно — шихты 3, 6, 9).

Кажущаяся плотность образцов, содержащих добавку Криопласт СП 15-1 (шихты 3, 6 и 9), несколько выше кажущейся плотности этих же бетонов, твердеющих при температуре  $15-20^{\circ}\text{C}$  (шихты 1, 4 и 7), а открытая пористость, соответственно, ниже.

Таким образом, установлено, что температура твердения образцов, изготовленных из корундового, муллитокорундового и шамотного бетонов опытных составов, влияет на основные показатели его свойств (предел прочности при сжатии, открытую пористость, кажущуюся плотность). В условиях низких температур показатели свойств бетонов можно регулировать с использованием комплексной пластифицирующей добавки Криопласт СП 15-1.

## Заключение

Исследовано влияние температуры окружающей среды на свойства корундовой, муллитокорундовой и шамотной

бетонных смесей и образцов из них, содержащих комплексную пластифицирующую добавку с противоморозным эффектом Криопласт СП 15-1.

Установлено, что применение добавки Криопласт СП 15-1 в составе вышеуказанных бетонов, изготовленных при температуре 6 °С ниже нуля, обеспечивает снижение водопотребности с 9,0—8,5 до 7,5—7,0 % (в 1,2 раза) и повышение растекаемости с 75—92 до 90—104 % (в 1,2 раза) по сравнению с бетонами без этой добавки, а также обеспечивает повышение предела прочности при сжатии высушенных и термообработанных образцов из них в 1,2—1,3 раза.

Корундовая, муллитокорундовая и шамотная бетонные смеси с комплексной пластифицирующей добавкой с противоморозным эффектом Криопласт СП 15-1 рекомендуются для выполнения футеровочных работ в условиях неотопливаемых помещений.

#### Библиографический список

1. *Кащеев И. Д.* Высокоэффективные огнеупоры в производстве стали / И. Д. Кащеев // Новые огнеупоры. — 2002. — № 2. — С. 34—35.
2. *Шикамото Н.* Современное состояние и перспективы развития огнеупорной промышленности Японии / Н. Шикамото // Новые огнеупоры. — 2005. — № 4. — С. 97—100.
3. *Аксельрод Л. М.* Новая техника, новые огнеупоры, оценка эффективности применения огнеупоров / Л. М. Аксельрод, О. В. Квятковский // Новые огнеупоры. — 2002. — № 6. — С. 14—18.
4. *Силиванова А. Н.* Развитие огнеупорных бетонов / А. Н. Силиванова // Новые огнеупоры. — 2009. — № 12. — С. 52—54.
5. *Кравченко И. В.* Глиноземистый цемент / И. В. Кравченко. — М. : Гостройиздат, 1961. — 175 с.
6. *Рамачандран В.* Наука о бетоне: физико-химическое бетоведение / Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. ; пер. с англ. Т. И. Розенберг., Ю. Б. Рагиновой ; под ред. В. В. Ратинова. — М. : Стройиздат, 1986. — 278 с.
7. *Стонис Р.* Влияние температуры на процесс твердения среднецементного жаростойкого бетона с композиционным дефлокулянтном / Р. Стонис, В. Антонович, И. Пундене [и др.] // Новые огнеупоры. — 2011. — № 11. — С. 50—54.
8. Огнеупорные бетоны : справочник / С. Р. Замятин, А. К. Пургин, Л. Б. Хоршавин [и др.] — М. : Металлургия, 1982. — 190 с.
9. Unshaped refractory products — Part 4: Determination of consistency of castables: EN 1402-4: 2003 (E). — Brussels : CEN, 2003. — 10 p. — (Европейский стандарт).

*Рецензент к. т. н. Чаплянко С. В.*