

*Д-р техн. наук В. В. Примаченко,  
канд. техн. наук В. В. Мартыненко,  
канд. техн. наук Л. А. Бабкина,  
канд. техн. наук И. В. Хончик, Л. Н. Никулина  
(ПАО «УКРНИИ ОГНЕУПОРОВ ИМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»,  
г. Харьков, Украина)*

## **Исследование влияния количества нормального электрокорунда на свойства низкоцементной глиноземошпинельной вибрационной бетонной смеси и образцов из нее**

### **Введение**

В мировой практике для изготовления низкоцементных корундовых и глиноземошпинельных бетонных смесей используется белый корунд [1—4].

В ПАО «УКРНИИО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» также разработаны и изготавливаются низкоцементные глиноземошпинельные вибрационные бетонные смеси (марок СГШНЦОБ и СГШНЦОБ-1), содержащие в качестве зернистой составляющей белый электроплавленный корунд собственного производства, которые предназначены для выполнения, в частности, футеровки днища и стен сталеразливочных ковшей соответственно [5—7]. Бетонная смесь марки СГШНЦОБ-1 характеризуется более высокой шлакоустойчивостью за счет дисперсной шпинели, дополнительно образующейся при высокотемпературном взаимодействии периклаза и глинозема, предварительно введенных в состав бетонной смеси.

В связи с этим представляло научный и практический интерес исследование влияния количества нормального электроплавленного корунда взамен белого электроплавленного корунда на свойства низкоцементной глиноземошпинельной вибрационной бетонной смеси марки СГШНЦОБ-1 и образцов из нее.

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 низкоцементных глиноземошпинельных вибрационных бетонов опытных составов. Для их приготовления использовали следующие сырьевые материалы: белый электроплавленный корунд собственного производства; нормальный электроплавленный корунд по ТУ У 3.02-00222226-016-96 с изм. № 1 производства ПАО «Запорожский абразивный комбинат»; спеченную алюмомагнезиальную шпинель марки AR-78 производства фирмы «Almatis» (Германия); лом периклазовых изделий марки П-91-1 по ГОСТ 4689—94; неметаллургический глинозем марки ГК-1 по ГОСТ 30559—98 производства ОАО «Бокситогорский глиноземный завод» (Россия); молотый пылевидный кварц марки А по ГОСТ 9077—82 производства ООО ПКФ «СТАРК»; алюминаткальциевый цемент марки СА-270 производства фирмы «Almatis» (Германия); диспергирующие добавки марок Castament FS 10 и Castament FW 10 производства компании «BASF Construction Polymers GmbH» (Германия); полипропиленовое короткорубленое волокно марки PP 2,8/6 мм производства фирмы «STW» (Германия).

Характеристика белого и нормального электроплавленных корундов приведена в табл. 1.

*Таблица 1*

**Физико-химические свойства белого и нормального электроплавленных корундов**

Наименование материала	Содержание оксидов, мас. %								Водопоглощение, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %
	$\Delta m_{\text{прк}}$	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>			
Белый электроплавленный корунд	0,10	99,60	0,08	0,04	не опр.	не опр.	0,24	—	4,9	3,23	15,6
Нормальный электроплавленный корунд	0,22	90,60	2,04	0,83	0,72	0,41	не опр.	3,10	0,9	3,80	3,4

Как следует из приведенных в табл. 1 данных, нормальный корунд характеризуется меньшей химической чистотой, однако имеет более высокую плотность и пониженные открытую пори-

стость и водопоглощение по сравнению с белым электроплавле-  
ным корундом.

Бетонные смеси для исследований получали смешением  
сырьевых материалов, взятых в заданных соотношениях, в ла-  
бораторной мешалке планетарного типа конструкции ПАО  
«УКРНИИО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» (со сферическим дном  
и пикообразной лопастью). Для затворения использовали водо-  
проводную воду в количестве, обеспечивающем получение не-  
обходимой консистенции бетона.

Вещественный состав бетонов представлен в табл. 2.

Таблица 2

Вещественный состав бетонов

Состав шихты, %	Номер шихты			
	1	2	3	4
Зернистый наполнитель: белый электроплавленный корунд нормальный электроплавленный корунд алюмомагнезиальная шпинель	+ — +	+ 10 +	+ 20 +	+ 32 +
Тонкодисперсная составляющая: глинозем лом периклазовых изделий пылевидный кварц	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +
Алюминаткальциевый цемент	+	+	+	+
Диспергирующие добавки (сверх 100 %)	+	+	+	+
Органическое полипропиленовое волокно (сверх 100 %)	+	+	+	+
Вода затворения (сверх 100 %)	5,8	5,4	5,1	5,1

Для проведения исследований зависимости растекаемости  
при вибрации бетонов опытных составов от количества нормаль-  
ного корунда использовали методику EN 1402-4:2003 (E) [8]  
определения консистенции бетонов для неформованных огне-  
упорных материалов.

Лабораторные образцы (кубы с ребром 40 мм) изготавливали  
методом вибротлитья в разборные металлические формы при  
следующих параметрах: время вибрации — 30 с; амплитуда —  
0,5 мм; частота — 50 Гц.

Образцы выдерживали на воздухе в течение 3 суток, за-  
тем сушили при  $(110 \pm 10)^\circ\text{C}$  (2 ч) и обжигали при температуре  
 $1450^\circ\text{C}$  (5 ч).

Определение свойств бетонных смесей и изготовленных  
из них образцов осуществляли согласно стандартам Украины:

химический и зерновой состав смесей определяли, соответственно, по ГОСТ 2642.0—86 и ГОСТ 27707—88; предел прочности при сжатии обожженных образцов — по ГОСТ 4071.1—94; открытую пористость и кажущуюся плотность — по ГОСТ 2409—95; изменение линейных размеров в обжиге (рост или усадку) — путем замера образцов до и после обжига.

Шлакоустойчивость низкоцементных глиноземошпинельных бетонных смесей оценивали тигельным методом при 1580 °С (8 ч) на предварительно обожженных при 1000 °С (2 ч) вибролитых образцах-кубах с ребром 40 мм с цилиндрическим углублением диаметром 15 мм и глубиной 18 мм. Для данных исследований использовали шлак электросталеплавильного цеха АО «Донецкий электрометаллургический завод» следующего химического состава, мас. %:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 16,5;  $\text{SiO}_2$  — 12,9;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 4,7;  $\text{FeO}$  — 18,7;  $\text{CaO}$  — 31,6;  $\text{MgO}$  — 9,0;  $\text{MnO}$  — 6,2. Огнеупорность шлака — 1270 °С.

### Результаты и их обсуждение

Свойства бетонных смесей и растекаемость бетонов представлены в табл. 3.

Как следует из приведенных в табл. 3 данных, с увеличением количества вводимого в шихту нормального электрокорунда наблюдается закономерное изменение химического состава исследуемых бетонных смесей, обусловленное наличием примесей в указанном материале (см. данные табл. 1): уменьшается содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 87,1 до 84,2 % и увеличивается массовая доля  $\text{MgO}$  (от 8,94 до 9,07 %) и  $\text{TiO}_2$  (от 0,0 до 0,99 %) для смесей составов № 1—4 соответственно.

Также необходимо отметить, что использование в составе низкоцементной глиноземошпинельной вибрационной бетонной смеси нормального корунда позволяет получить требующуюся для хорошей укладки консистенцию бетона при его пониженной влажности (5,4—5,1 % для составов № 2—4 против 5,8 % для состава № 1). При этом растекаемость бетонов увеличивается от 115 до 120—140 % для составов № 1 и № 2—4, соответственно. Это, вероятно, объясняется тем, что нормальный электрокорунд характеризуется более низкими по сравнению с белым электроплавленным корундом открытой пористостью и водопоглощением.

Свойства образцов приведены в табл. 4.

Из приведенных в табл. 4 данных видно, что введение в шихты в исследованных пределах (10—32 %) нормального корунда

Свойства бетонных смесей и растекаемость бетонов

Наименование свойств	Показатели свойств для составов			
	1	2	3	4
Химический состав, %, мас. доля на прокаленное вещество:				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	87,1	86,2	85,3	84,2
MgO	8,94	8,98	9,02	9,07
CaO	1,49	1,56	1,63	1,72
SiO <sub>2</sub>	2,21	2,41	2,62	2,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,26	0,34	0,43	0,53
TiO <sub>2</sub>	—	0,31	0,62	0,99
Зерновой состав, %, проход через сетку:				
№ 5	99,3	99,3	99,3	99,4
№ 3,2	85,9	85,2	86,0	85,3
№ 1	62,4	61,4	60,4	57,3
№ 05	53,4	50,5	49,7	47,7
№ 0063	31,0	31,0	31,5	30,8
Растекаемость бетона, мм / %	$\frac{215}{115}$	$\frac{220}{120}$	$\frac{230}{130}$	$\frac{240}{140}$

снижает пористость образцов, не оказывая существенного влияния на остальные физико-керамические свойства, и уменьшает их шлакопропитку (рисунок) в  $\sim 1,4$ —2 раза (от 170 до 80—120 мм<sup>2</sup>).

Уменьшение шлакопропитки образцов (повышение их шлакоустойчивости), изготовленных с использованием нормального корунда, можно объяснить снижением пористости образцов и некоторым увеличением количества вторичной шпинели, которая характеризуется, как известно, повышенной стойкостью к воздействию шлакометаллических расплавов.

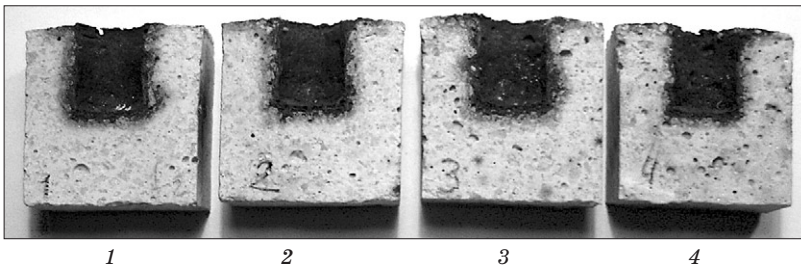


Рис. Внешний вид образцов после определения шлакоустойчивости: 1 — без добавки нормального корунда; 2 — с 10 % нормального корунда; 3 — с 20 % нормального корунда; 4 — с 32 % нормального корунда

Свойства образцов

Наименование свойств	Показатели свойств образцов из шихт			
	1	2	3	4
Предел прочности при сжатии, Н/мм <sup>2</sup> , образцов из бетона после: твердения на воздухе в течение 3 суток и сушки при 110 °С (2 ч) обжига при 1450 °С (5 ч)	$\frac{35,2-37,3}{36,3}$ $\frac{125,9-134,0}{130}$	$\frac{34,3-38,4}{36,4}$ $\frac{139,2-159,9}{149}$	$\frac{33,6-39,4}{36,5}$ $\frac{147,0-161,0}{154}$	$\frac{34,2-39,2}{36,7}$ $\frac{148,0-161,0}{155}$
Открытая пористость, %, после термообработки при 1450 °С (5 ч)	21,2	20,6	19,4	18,7
Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup> , после термообработки при 1450 °С (5 ч)	2,89	2,92	2,95	2,97
Изменение линейных размеров, %, после термообработки при 1450 °С (5 ч)	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5
Фазовый состав, %: белый корунд нормальный корунд спеленная шпинель (AR-78) вторичная шпинель криптокристаллическое + стекловидное вещество	50-55 — 18-22 13-15 13-16	40-45 8-12 18-22 14-16 12-15	30-35 18-22 18-22 15-17 11-14	18-22 30-35 18-22 16-18 10-13
Шлакоустойчивость: площадь разъедания, мм <sup>2</sup> площадь пропитки, мм <sup>2</sup>	нет 170	нет 120	нет 105	нет 80

Таким образом, в результате выполненных исследований установлено, что содержание в исследованных пределах (10—32 %) в составе низкоцементной глиноземошпинельной вибрационной бетонной смеси марки СГШНЦОБ-1 нормального корунда взамен белого электроплавленого корунда обеспечивает повышение их шлакоустойчивости в  $\sim 1,4$ —2 раза.

На основании проведенных исследований разработан новый вид продукции — низкоцементная глиноземошпинельная вибрационная бетонная смесь с добавкой нормального корунда марки СГШНЦОБ-2, которая рекомендуется для выполнения футеровки стен сталеразливочных ковшей.

### Заклучение

Выполнены исследования влияния количества нормального электроплавленого корунда, вводимого в состав низкоцементной глиноземошпинельной вибрационной бетонной смеси марки СГШНЦОБ-1 взамен белого электроплавленого корунда, на свойства указанной смеси и образцов, изготовленных из нее.

Установлено, что содержание в исследованных пределах (10—32 %) в составе вышеуказанной смеси нормального электрокорунда обеспечивает повышение их шлакоустойчивости в  $\sim 1,4$ —2 раза.

На основании выполненных исследований разработана новая низкоцементная глиноземошпинельная вибрационная бетонная смесь, содержащая нормальный корунд, марки СГШНЦОБ-2. Разработанная бетонная смесь характеризуется следующими показателями физико-химических свойств:  $Al_2O_3$  — не менее 80 %;  $CaO$  — в пределах 1,0—2,5 %;  $MgO$  — в пределах 8,0—12,0 %;  $SiO_2$  — не более 3,5 %;  $TiO_2$  — в пределах 0,5—1,5 %;  $Fe_2O_3$  — не более 0,8 %; зерновой состав, мм — 6—0; предел прочности при сжатии после термобработки при 110 и 1450 °С — не менее 25 и 100 МПа соответственно.

В ПАО «УКРНИИО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» освоено производство бетонной смеси марки СГШНЦОБ-2, она рекомендуется для выполнения футеровки сталеразливочных ковшей.

### Библиографический список

1. Гарсел Д. В. Низкоцементные огнеупорные бетоны: материал и опыт применения / Д. В. Гарсел, Л. М. Аксельрод // *Металлургическая и горнорудная пром-сть.* — 2001. — № 1. — С. 67—72.

2. Аксельрод Л. М. Огнеупорные бетоны нового поколения в производстве чугуна и стали / Л. М. Аксельрод // Огнеупоры и техническая керамика. — 1999. — № 8. — С. 35—42.

3. Новые низко- и ультранизкоцементные огнеупорные бетоны производства ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» для металлургии и стекольной промышленности / А. П. Маргишвили, Г. В. Русакова, И. А. Гвоздева [и др.] // Новые огнеупоры. — 2008. — № 3 — С. 121—126.

4. Россихина Г. С. Опыт производства и применения огнеупорных бетонных смесей и изделий / Г. С. Россихина // Новые огнеупоры. — 2012. — № 3 — С. 132—136.

5. Alumina spinel low cement castable for lining of steel ladles / V. V. Primachenko, V. V. Martynenko, L. A. Babkina [et al.] // Stahl und Eisen Special. — October. — 2004. — P. 71—73.

6. Development of improved alumina spinel low cement castable with the use of various magnesium-containing materials / V. V. Primachenko, V. V. Martynenko, L. A. Babkina [et al.] // Proc. Intern. Conf. UNITECR '07. — Dresden, 2007. — P. 562—565.

7. Зависимость свойств глиноземошпинельной низкоцементной бетонной смеси от вида шпинельсодержащего глинозема / В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, Л. А. Бабкина [и др.] // Зб. наук. пр. УкрНДІВогнетривів ім. А. С. Бережного — X. : Каравела, 2006. — № 106. — С. 56—62.

8. 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. Гальченко Т. Г.*