

УДК 666.974.2

А. Н. ЕФРЕМОВ, О. Б. КОНЕВ

ГООУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ПРЕССОВАННЫХ
ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА**

Аннотация. На основе жидкостекольных вяжущих из дисперсных гранулированного доменного и кристаллических сталеплавильных шлаков получены бесцементные бетоны полусухого прессования марок 100–200. Бетоны способны к длительному твердению в нормальных условиях и воде, характеризуются высокой коррозионной стойкостью в растворах солей сульфатов натрия, магния и кальция, а также в слабо концентрированной соляной кислоте. Марка бетонов по морозостойкости составляет 25–50.

Ключевые слова: доменный гранулированный и сталеплавильные шлаки, жидкое стекло, бесцементный бетон, долговечность.

ВВЕДЕНИЕ

Шлакощелочные вяжущие являются одними из наиболее эффективных безклинкерных композиций по многим факторам: активности, технологии, долговечности, себестоимости.

В настоящее время досконально изучены и широко применяются шлакощелочные бетоны на вяжущих, основой которых являются молотые доменные гранулированные шлаки и щелочные компоненты – водные растворы NaOH, Na₂CO₃, Na₂O·mSiO₂. Наиболее высокой активностью, 70–120 МПа, характеризуются вяжущие, затворенные низкомолекулярными жидкими стеклами с силикатным модулем m = 1,0–2,2. Однако промышленностью такие стекла практически не производятся. При использовании выпускаемых стекол с силикатным модулем 2,6–3,4, активность шлакощелочных вяжущих снижается в 2–3 раза [1–3]. Поэтому их, как правило, разбавляют раствором NaOH. Кроме того, сдерживающим фактором широкого внедрения шлакощелочных бетонов на основе низкомолекулярных жидких стекол и молотых доменных граншлаков, особенно основных, являются чрезмерно короткие сроки схватывания, составляющие 5–20 минут [4, 5].

В последние 10–20 лет на металлургических предприятиях бывшего Советского Союза приступили к широкой переработке отвальных доменных и сталеплавильных шлаков с целью извлечения металла и получения фракционированной шлаковой продукции. При этом наиболее мелкие, песчано-щебенистые фракции 0...5 и 0...10 мм, как правило, пользуются наименьшим спросом у потребителей. Одной из основных причин этого является значительное – до 40 % по массе, содержание пылеватой фракции менее 0,16 мм. Эта фракция состоит, главным образом, из γ-2CaO·mSiO₂, образовавшегося в результате силикатного распада [6, 7].

В технологии жаростойких и огнеупорных бетонов известно применение жидкостекольных вяжущих композиций с отвердителями из саморассыпающихся кристаллических шлаков и нефелинового шлама. Их твердение происходит за счет взаимодействия силиката натрия с γ-2CaO·SiO₂ по поверхности разрыхленных тонкодисперсных частиц с образованием гелеобразных гидросиликатов типа (Na₂O, CaO)·nSiO₂·mH₂O. Такие вяжущие также имеют чрезмерно короткие сроки схватывания [8, 9]. Однако их преимущество перед доменными граншлаками – тонкодисперсность, они не требуют помола.

В работе [10] нами показано, что жидкостекольные песчано-щебенистые смеси из сталеплавильных шлаков при использовании в течение 30–60 минут после схватывания сохраняют пластичность,

достаточную для формования плотных изделий методом полусухого прессования. При этом получены прессованные бетоны марок 100–200.

Цель настоящей работы – изучить свойства бетонов и их составляющих, определяющих долговечность изделий, в том числе в агрессивных средах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве шлакового компонента вяжущих использовались фракции менее 0,16 мм мартеновского и электросталеплавильного шлаков завода «Донецксталь» и молотый доменный гранулированный шлак Мариупольского комбината им. Ильича с остатками на сите 0,08 мм соответственно 12, 16 и 8 %. Жидкое стекло имело силикатный модуль 2,9 и плотность 1,25 г/см³.

В качестве мелкого и крупного заполнителей применяли стабилизированные песчаную и щебенистую фракции 0,16 – 5 и 5...10 мм мартеновского шлака. Щебенистая фракция по пределу прочности при стандартном испытании (ГОСТ 5578-94, ГОСТ 8269.0-97) соответствовала марке 800 (дробимость – 11,9...12,1 %).

В исследованиях использовался бетон с расходом шлаковых компонентов, % массы: щебень – 50, песок – 25, пылеватая фракция 0...0,16 мм – 25. Жидкое стекло вводилось в смесь в количестве 14...18 % от массы сухих составляющих.

Для испытания бетонов на морозостойкость и стойкость при длительном твердении применялись образцы-цилиндры диаметром и высотой 7 см, при испытании на коррозионную стойкость – цилиндры диаметром и высотой 5 см. Образцы прессовались при давлении 20 МПа.

При определении коррозионной стойкости контрольные образцы после 28 суток твердения в нормальных условиях помещались на решетчатый поддон таким образом, чтобы они со всех сторон контактировали с раствором. Расстояние между образцами составляло 5 см. Агрессивная жидкость сменялась 1 раз в 3 недели. Эталонные образцы погружались в емкость с дистиллированной водой, которая также менялась 1 раз в 2 недели. По истечении 6 месяцев образцы были испытаны на прочность при сжатии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Заполнители из отвальных сталеплавильных шлаков подвержены силикатному распаду, что может вызвать снижение прочности бетона и даже полное его разрушение. Для проверки стабильности заполнителей проведены исследования зависимости прочности от длительности твердения бетонов в нормальных условиях и в воде. Анализ результатов, приведенных в табл. 1 и 2, показывает, что в течение 3 лет выдержки в нормальных условиях прочность бетонов возрастает в 1,89...2,31 раза по сравнению с образцами 28-суточного возраста. Аналогичные результаты получены при хранении образцов в воде, прочность бетонов увеличивается в 1,71...2,74 раза. Наибольший рост прочности в обоих случаях характерен для бетона на электросталеплавильном шлаке.

Таблица 1 – Зависимость прочности бетонов от длительности твердения в нормальных условиях

Вид шлаковой составляющей вяжущих	Прочность при сжатии (МПа перед чертой, % после черты), при длительности твердения, месяцы				
	1	3	12	24	36
Электросталеплавильный шлак	16,2/100	23,6/146	27,4/169	33,7/208	37,5/231
Мартеновский шлак	8,0/100	10,8/135	12,2/153	13,9/174	15,1/189
Доменный граншлак	14,2/100	19,4/137	22,9/161	25,7/181	18,3/199

Таблица 2 – Зависимость прочности бетонов от длительности твердения в воде

Вид шлаковой составляющей вяжущих	Прочность при сжатии (МПа перед чертой, % после черты), при длительности твердения, месяцы				
	1	3	12	24	36
Электросталеплавильный шлак	11,8/100	19,7/167	24,1/204	29,4/249	32,3/274
Мартеновский шлак	7,0/100	8,5/121	9,6/137	10,8/154	12,0/171
Доменный граншлак	9,6/100	12,7/133	15,4/160	16,6/173	18,2/190

Исследования морозостойкости (табл. 3) показали, что после 15 циклов прочность бетонов на доменном гранулированном и электросталеплавильном шлаках увеличивается. Для бетона, в котором

Таблица 3 – Морозостойкость прессованных мелкозернистых бетонов

Вид шлаковой составляющей вяжущих	Коэффициент морозостойкости при количестве циклов замораживания и оттаивания		
	15	25	50
Электросталеплавильный шлак	1,03	0,97	0,87
Мартеновский шлак	0,97	0,92	0,69
Доменный граншлак	1,10	1,22	1,16

основой вяжущего является тонкодисперсный мартеновский шлак, характерно незначительное – 3 %, падение прочности. После 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания бетон на доменном граншлаке продолжает упрочняться. Падение прочности бетона на электросталеплавильном шлаке близка к предельной величине, а на мартеновском шлаке сброс прочности существенно превысил допустимый предел.

Проведены исследования стойкости бетонов в растворах солей Na_2SO_4 , MgSO_4 , CaSO_4 и HCl . Анализ полученных данных (таблица 4) свидетельствует о том, что все изученные составы бетонов стойки в растворах солей сульфатов натрия, магния и кальция, а также в слабоконцентрированной соляной кислоте.

Таблица 4 – Коррозионная стойкость прессованных мелкозернистых шлакощелочных бетонов

Вид шлаковой составляющей вяжущих	Прочность при сжатии в МПа (перед чертой), коэффициент коррозионной стойкости (после черты) контрольных образцов в агрессивных растворах						
	вода	CaSO_4	1,5 %-ный MgSO_4	6 %-ный MgSO_4	3 %-ный Na_2SO_4	10 %-ный Na_2SO_4	0,1N HCl
Электросталеплавильный шлак	20,2/1,00	19,3/0,95	20,4/1,00	20,7/1,02	22,1/1,09	20,0/0,99	19,0/0,94
Мартеновский шлак	8,3/1,00	12,7/1,53	13,8/1,66	15,6/1,88	12,7/1,53	17,0/2,05	14,0/1,69
Доменный граншлак	30,9/1,00	29,7/0,96	29,3/0,95	24,4/0,78	33,4/1,08	32,1/1,04	34,9/1,13

ВЫВОДЫ

1. На основе жидкостекольных вяжущих из дисперсных гранулированного доменного и кристаллических сталеплавильных шлаков получены бесцементные бетоны полусухого прессования марок 100–200. Бетоны способны к длительному твердению в нормальных условиях и воде.
2. Бетоны характеризуются высокой коррозионной стойкостью в растворах солей сульфатов натрия, магния и кальция, а также в слабо концентрированной соляной кислоте.
3. Марка бетонов на кристаллических сталеплавильных шлаках по морозостойкости составляет 25–50.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях [Текст] / [под ред. В. Д. Глуховского]. – К. : Вища шк., 1981. – 224 с.
2. Кривенко, П. В. Специальные шлакощелочные цементы [Текст] / П. В. Кривенко. – К. : Будівельник, 1992. – 192 с.
3. Ефремов, А. Н. Шлакощелочные вяжущие и бетоны с повышенными жаростойкими свойствами [Текст] : дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.05 : защищена 18.11.1981 : утв. 21.04.1982 / Ефремов А. Н. – К., 1981. – 210 с. : ил. – Библиогр.: с. 143–162.
4. А. с. 697429 СССР, МКИ С 04В 7/14. Вяжущее [Текст] / И. А. Пашков, А. Н. Ефремов (СССР). – № 2518162/29–33 ; заявл. 22.08.77 ; опубл. 17.11.79, Бюл. № 42. – 3 с.
5. А. с. 863532 СССР, МКИ С 04В 7/14. Вяжущее [Текст] / А. Н. Ефремов, В. Б. Лукьянов (СССР). № 2843807/29–33 ; заявл. 03.10.79 ; опубл. 15.09.81, Бюл. № 34. – 2 с.
6. Торопов, Н. А. Химия цементов [Текст] / Н. А. Торопов. – М. : Стройиздат, 1956. – 272 с.
7. Бетоны и изделия на шлаковых и зольных цементах [Текст] / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, Б. Н. Виноградов [и др.]. – М. : Стройиздат, 1963. – 362 с.

8. Тарасова, А. П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе [Текст] / А. П. Тарасова. – М. : Стройиздат, 1982. – 132 с.
9. Кремнеземистые бетоны и блоки [Текст] / А. К. Пургин, И. П. Цыбин, А. В. Жуков [и др.]. – М. : Metallurgizdat, 1975. – 215 с.
10. Ефремов, А. Н. Бесцементные шлакобетоны на основе отвальных сталеплавильных шлаков [Текст] / А. Н. Ефремов, О. Б. Конев // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – Вып. 2016-1(117). – С. 79–83.

Получено 31.01.2018

О. М. ЄФРЕМОВ, О. Б. КОНЄВ
ДОВГОВІЧНІСТЬ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ ПРЕСОВАНИХ ШЛАКОЛУЖНИХ
БЕТОНІВ НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. На основі рідкоскляних в'яжучих з дисперсних гранульованого доменного і кристалічних сталеплавильних шлаків отримані безцементні бетони напівсухого пресування марок 100–200. Бетони здатні до тривалого твердіння в нормальних умовах і воді, характеризуються високою корозійною стійкістю в розчинах солей сульфатів натрію, магнію і кальцію, а так само у слабо концентрований соляній кислоті. Марка бетонів за морозостійкістю становить 25–50.

Ключові слова: доменний гранульований і сталеплавильні шлаки, рідке скло, безцементний бетон, довговічність.

ALEXANDER YEFREMOV, OLEG KONEV
DURABILITY OF THE FINE-GRAINED PRESSED SLAG CONCRETE ON THE
BASIS OF LIQUID GLASS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. On a basis the liquid silica glass knitting from disperse granulated domain and crystal steel-smelting slags concrete of moist pressing of quality class 100–200 are received. Concrete are capable to long curing in normal conditions and water, are characterized by high corrosion resistance in solutions of salts of sulfates of sodium, magnesium and calcium, and also in poorly concentrated hydrochloric acid. The quality class of concrete on freezeproof makes 25–50.

Key words: domain the granulated and steel-smelting slags, liquid glass, slag concrete, life cycle.

Ефремов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, жаростойкие и огнеупорные бетоны.

Конев Олег Борисович – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны на основе кристаллических металлургических шлаков и жидкого стекла.

Ефремов Александр Михайлович – доктор технічних наук, професор кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: в'яжучі і бетони на основі промислових відходів, вогнетривкі бетони.

Конев Олег Борисович – ассистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони на основі кристалічних металургійних шлаків і рідкого скла.

Yefremov Alexander – D. Sc. (Eng.), Professor, Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: binders and concretes on the basis of industrial waste, refractory concretes.

Konev Oleg – assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of crystalline metallurgical slags and liquid silica glass.