

УДК 691.5:666.943

к.т.н. Долголаптев В. М.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ АЛЧЕВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

В статье приведены результаты прочностных испытаний образцов на основе растворов с использованием гранулированного доменного шлака Алчевского металлургического комбината (АМК). Установлены пределы прочности при изгибе и сжатии различных составов, отличающихся видом затворителя и вяжущего вещества. Полученные результаты свидетельствуют о практической возможности использования шлакощелочных вяжущих на основе гранулированных доменных шлаков АМК в строительной практике.

**Ключевые слова:** шлакощелочные вяжущие, щелочные цементы, доменные шлаки, прочность.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** О том, что металлургические шлаки (в первую очередь доменные) обладают вяжущими свойствами, известно достаточно давно. Существует целая группа шлаковых вяжущих, в которую входят:

- бесклинкерные шлаковые вяжущие;
- сульфатно-шлаковые цементы;
- известково-шлаковые вяжущие;
- шлаковые вяжущие для бетонов автоклавного твердения;
- шлакощелочные вяжущие (щелочные цементы).

Особый интерес представляет группа шлакощелочных вяжущих веществ. Известно, что основным признаком наличия гидравлических вяжущих свойств у минеральных веществ является их способность при контакте с водой создавать щелочную среду с достаточно высоким рН, обеспечивающим гидратацию вещества вяжущего. Поскольку едкие щёлочи являются сильными основаниями, на их основе, как и на основе гидроокисей щелочноземельных металлов, можно получить гидравлические вяжущие вещества.

В качестве щелочного компонента применяют каустическую и кальцинированную соду, поташ, растворимое стекло и др. Используют также попутные продукты промышленности: плав щелочей (содовое про-

изводство); содощелочной плав (производство капролактама); содопоташную смесь (производство глинозёма); цементную пыль и т. п. Оптимальное содержание щелочных соединений в вяжущем в пересчёте на  $\text{Na}_2\text{O}$  составляет 2–5 % массы шлака.

Для шлаков с модулем основности ( $M_o$ ) больше единицы могут применяться все щелочные соединения или их смеси, дающие в воде щелочную реакцию, для шлаков с  $M_o < 1$  — только едкие щёлочи и щелочные силикаты с модулем 0,5–2, несиликатные соли слабых кислот и их смеси могут быть использованы только в условиях тепловлажностной обработки. Наличие щелочей интенсифицирует разрушение и гидролитическое растворение шлакового стекла, образование щелочных гидроалюмосиликатов и создание среды, способствующей образованию и высокой устойчивости низкоосновных кальциевых гидросиликатов. Малая растворимость новообразований, стабильность структуры во времени являются решающими условиями долговечности шлакощелочного камня.

Классическими трудами в этом направлении считаются работы, выполненные Проблемной научно-исследовательской лабораторией грунтосиликатов Киевского инженерно-строительного института (ПНИЛГ КИСИ, основана в 1957 г.) под руководством В. Д. Глуховского [1, 2].

Экспериментальное внедрение шлакощелочных бетонов в строительство начато в 1958 г., а опытное производство — в 1964 г. На основе накопившегося опыта в 1986 году НИИЖБ Госстроя СССР были изданы «Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе» [3]. В них были приведены технические требования, предъявляемые к компонентам шлакощелочных бетонов (шлакам, щелочным соединениям и др.); изложены правила приготовления растворов щелочных компонентов и шлакощелочных бетонных смесей, особенности подбора состава шлакощелочных бетонов, назначения режимов их тепловлажностной обработки и ухода за конструкциями, а также правила техники безопасности и контроля за производством бетонных работ; рассмотрены примеры подбора и корректировки состава шлакощелочных бетонов; указаны области применения шлакощелочных бетонов в изделиях и конструкциях.

На основе ПНИЛГ КИСИ был организован Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В. Д. Глуховского Киевского национального университета строительства и архитектуры, которым был разработан государственный стандарт ДСТУ Б В.2.7-181:2009 «Будівельні матеріали. Цементи лужні. Технічні умови», введённый в действие с 1 августа 2009 года. В стандарте указаны сфера применения, классификация и обозначение, общие технические условия, а также другие сведения о щелочных цементах.

Несмотря на довольно длительную историю, проблема использования отходов промышленности и, в частности, доменных шлаков для производства вяжущих веществ не утратила актуальности и по сегодняшний день, особенно для регионов с развитой металлургической промышленностью. Достаточно подробный анализ перспективы применения шлаков в производстве строительных материалов на территории Луганской Народной Республики выполнен в работах Г. Я. Дрозда [4, 5]. В них отмечено, что имеющиеся в республике колос-

сальные запасы шлакового сырья и щелочных отходов химических производств позволяют создать собственную, альтернативную цементной промышленности, безцементную шлакощелочную строительную индустрию, основанную исключительно на местных промышленных отходах. При этом применение промышленных отходов позволяет на 10...30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья, экономия капитальных вложений достигает 35...50 % [4].

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является исследование прочностных характеристик растворов на основе доменных шлаков Алчевского металлургического комбината (АМК).

**Изложение материала и его результаты.** Для определения прочностных характеристик исследуемого шлакощелочного вяжущего изготавливались образцы в форме балочек размером 160×40×40 мм, которые впоследствии испытывались по схеме трёхточечного изгиба. Образовавшиеся после испытания на изгиб половинки балочек испытывались на сжатие через специальные прокладки площадью 25 см<sup>2</sup>. Количество образцов в каждой партии — 3.

Для изготовления балочек использовались растворы различных составов. Перемешивание раствора осуществлялось в стандартной лабораторной растворешалке. Растворная смесь нормальной густоты укладывалась в трёхсекционную форму, закреплённую на стандартной виброплощадке, с последующим уплотнением в течение 3 минут.

Определение прочности при изгибе и при сжатии проводилось для образцов нормального твердения в возрасте 28 суток и пропаренных.

Испытания на изгиб и сжатие, а также условия изготовления, хранения и пропаривания опытных образцов соответствовали ГОСТ 310.4–81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии (с Изменениями № 1, 2)».

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

В качестве материалов для приготовления образцов использовались:

– портландцемент марки ПЦ П/А-III-500 по ДСТУ БВ.2.7-46-96;

– песок строительный полевошпатовый с модулем крупности 1,14 по ГОСТ 8736-2014;

– гранулированный доменный шлак АМК (молотый, с удельной поверхностью 4000 см<sup>2</sup>/г — в качестве вяжущего и просеянный через сита 0,14; 0,315; 0,63 мм — в качестве мелкого заполнителя);

– затворители: вода и щелочные компоненты.

По данным, полученным в центральной заводской лаборатории АМК (18.03.2012 г.), химический состав доменного шлака (в % по массе): SiO<sub>2</sub> — 39,41; CaO — 45,44; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 7,17; MgO — 5,14; MnO — 0,17; FeO — 0,34; TiO<sub>2</sub> — 0,42; Si — 0,52; Mn — 0,17; S — 0,051; Ti — 0,021.

Модуль основности шлака M<sub>0</sub> = 1,15.

Величина удельной поверхности молотого шлака определялась при помощи прибора ПСХ-4 (Прибор системы Ходакова).

В качестве щелочных компонентов были применены водные растворы Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в свежеприготовленном состоянии плотностью 1130 кг/м<sup>3</sup> (состав 1); 1240 кг/м<sup>3</sup> (состав 2) и отстоянном состоянии плотностью 1060 кг/м<sup>3</sup> (состав 3), водный 20%-й раствор NaOH (состав 4). Плотность полученных растворов определялась с помощью набора ареометров (денсиметров) по ГОСТ 1300-74.

Был определен уровень pH растворов с помощью прибора pH-метр-150. По полученным результатам уровень pH растворов Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> составляет 10,60–10,95 в зависимости от плотности, а показатель pH раствора NaOH — 12,98.

Для испытаний были изготовлены образцы 18 различных составов (см. табл. 1).

Таблица 1

Составы растворов, использовавшихся для изготовления образцов

№	Состав раствора					
	Заполнитель	Масса, г	Вяжущее	Масса, г	Затворитель	Масса, г
1	песок	1500	цемент	500	вода	300
2	песок	1500	цемент	375	вода	300
			молотый гранулированный шлак (МГШ)	125		
3	песок	1500	цемент	250	вода	300
			МГШ	250		
4	песок	1500	цемент	125	вода	300
			МГШ	375		
5	песок	1500	МГШ	500	вода	300
6	песок	1500	цемент	500	состав 1	300
7	песок	1500	цемент	375	состав 1	300
			МГШ	125		
8	песок	1500	цемент	250	состав 1	300
			МГШ	250		
9	песок	1500	цемент	125	состав 1	300
			МГШ	375		
10	песок	1500	МГШ	500	состав 1	300
11	песок	1500	МГШ	500	состав 4	300
12	песок	1500	МГШ	500	состав 4	200
13	песок	1500	МГШ	500	состав 3	300
14	песок	1500	МГШ	500	состав 3	200

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Продолжение таблицы 1

№	Состав раствора					
	Заполнитель	Масса, г	Вязущее	Масса, г	Затворитель	Масса, г
15	просеянный гранулированный шлак (ПГШ)	1500	МГШ	500	вода	300
16	ПГШ	1500	МГШ	500	вода	200
17	ПГШ	1500	МГШ	500	состав 2	300
18	ПГШ	1500	цемент	125	состав 2	300
			МГШ	375		

Образцы каждого состава были изготовлены в количестве 6 штук, три из которых твердели в нормальных условиях (испытаны в возрасте 28 суток), а три образца подвергались пропариванию по режиму согласно ГОСТ 310.4–81. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Проведённые испытания показывают, что при использовании в качестве затворителя воды прочность образцов при сжатии

снижается по мере уменьшения доли цемента и увеличения доли молотого гранулированного шлака с 20,8 МПа до 6,0 МПа (для образцов нормального твердения) и с 26,8 МПа до 5,2 МПа (для пропаренных образцов). При этом увеличение доли шлака в вязущем с 25 % до 50 % для пропаренных образцов не приводило к существенному падению прочности (образцы 2 и 3).

Таблица 2

Пределы прочности при изгибе и при сжатии испытанных образцов

№	Среднее значение предела прочности при изгибе, МПа		Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа	
	образцов нормального твердения	пропаренных образцов	образцов нормального твердения	пропаренных образцов
1	5,4	4,0	20,8	26,8
2	3,9	3,3	14,8	16,8
3	3,3	2,95	10,8	16,0
4	3,9	3,25	9,6	8,0
5	2,5	2,8	6,0	5,2
6	1,0	0,85	4,8	4,0
7	1,7	1,3	8,4	9,6
8	3,6	3,6	14	11,2
9	2,3	2,8	3,2	3,6
10	2,7	4,65	11,6	21,2
11	4,3	3,0	11,6	7,2
12	3,2	4,65	8,0	10,8
13	1,9	1,8	12,6	18,4
14	0,6	-	1,6	1,9
15	-	1,2	-	4,4
16	-	1,7	-	1,6
17	3,3	6,2	5,0	21,2
18	6,2	6,1	16,6	18,8

При использовании в качестве вяжущего исключительно МГШ, а в качестве затворителя — растворы различного состава (образцы 5, 10, 11, 13) наилучшие результаты показали водные растворы  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  различной плотности и гораздо худшие — водный 20%-й раствор  $\text{NaOH}$ .

Замена песка на просеянный гранулированный доменный шлак к существенному изменению прочности для пропаренных образцов не привела. Образцы 10 и 17 показали одинаковый предел прочности при сжатии (21,2 МПа) и близкие при изгибе — 4,65 МПа и 6,20 МПа соответственно.

Ожидаемо низкую прочность показали балочки на МГШ и воде (образцы 15, 16). При этом образцы нормального твердения практически рассыпались при минимальном усилии, пропаренные образцы оказались заметно прочнее, но результаты были невысоки.

Следует отметить, что на прочностные характеристики оказывало влияние количество затворителя в смеси. Так, при снижении количества затворителя с 300 мл до 200 мл смесь становилась сухой и неудобноукладываемой, что сказалось на результатах (образцы 14, 16).

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Проведённые испытания дополняют имеющиеся сведения о прочности растворов на основе гранулированных доменных шлаков.

#### Библиографический список

1. Глуховский, В. Д. Шлакощелочные цементы и бетоны [Текст] / В. Д. Глуховский, В. А. Пахомов. — К. : Будівельник, 1978. — 184 с.
2. Производство бетонов и конструкций на основе шлакощелочных вяжущих [Текст] / В. Д. Глуховский, П. В. Кривенко, Г. В. Румына, В. Л. Герасимчук. — К. : Будівельник, 1988. — 144 с.
3. Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе [Текст]. — М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1986. — 55 с.
4. Дрозд, Г. Я. Потенциал развития сектора обращения с отходами на Луганщине [Текст] / Г. Я. Дрозд // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. — Вып. 10 (53). — С. 83–98.
5. Дрозд, Г. Я. Шлакощелочная строительная индустрия — возможная перспектива для Луганщины [Текст] / Г. Я. Дрозд // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. — Вып. 6 (49). — С. 83–89.

Перспективными представляются составы нормальной пластичности на основе молотого гранулированного доменного шлака и водных растворов  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  плотностью 1100–1200 кг/м<sup>3</sup>.

Представляют интерес исследования, направленные на изучение возможности применения попутных продуктов промышленности Донбасса в качестве щелочного компонента, а также составов с применением дисперсных горных пород — глины, известняка, кремнистых пород, многие из которых активизируются щелочными активизаторами шлака.

При затворении водой удовлетворительные результаты показывают составные смеси из портландцемента и молотого гранулированного доменного шлака.

Снижение соотношения затворитель/вяжущее без потери удобоукладываемости смеси с возможным повышением прочности может быть достигнуто путём применения пластификаторов, что требует дополнительной проверки.

Поиск оптимальных составов растворов с использованием доменных шлаков Алчевского металлургического комбината (в том числе отвальных), а также исследование их морозостойкости могут стать направлением дальнейших исследований.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ПГСиА  
ИСА и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля Дроздом Г. Я.,  
к.т.н., доц., зав. каф. СК ДонГТУ Псюком В. В.*

*Статья поступила в редакцию 20.11.19.*

**к.т.н. Долголаптев В. М.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ ДОМЕННИХ ШЛАКІВ  
АЛЧЕВСЬКОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ**

*У статті наведено результати випробувань міцності зразків на основі розчинів з використанням гранульованого доменного шлаку Алчевського металургійного комбінату (АМК). Встановлено межі міцності при вигинанні і стисненні різних складів, що відрізняються видом затворювача і в'язучої речовини. Отримані результати свідчать про практичну можливість використання шлаколуужних в'язучих на основі гранульованих доменних шлаків АМК в будівельній практиці.*

**Ключові слова:** *шлаколуужні в'язучі, луужні цементи, доменні шлаки, міцність.*

**PhD in Engineering Dolgolaptev V. M.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**STRENGTH CHARACTERISTICS OF SOLUTIONS BASED ON BLAST FURNACE SLAG  
OF ALCHEVSK IRON-AND-STEEL WORKS**

*The article presents the results of strength tests of samples based on solutions using granulated blast furnace slag of Alchevsk Iron-and Steel Works (AISW). There have been determined the limits of bending strength and compression of various compositions differing in the form of grouting fluid and binder. The obtained results point to the practical possibility of using the slag-alkaline binders based on granulated blast furnace slag of AISW in construction practice.*

**Key words:** *slag-alkaline binders, alkaline cements, blast furnace slag, strength.*