

**УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ЗА
СЧЕТ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ДОМЕННОГО
ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА**

**В. И. Большаков, д. т. н., проф., М. А. Елисеева, асп.,
О. С. Щербак, асс., С. А. Щербак, д. т. н., проф.**

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры»*

Постановка проблемы. Строительная промышленность уже сейчас столкнулась с проблемой дефицита качественного природного сырья. Запасы природных ископаемых истощаются, их разработка и добыча осуществляется гораздо быстрее, чем разведка новых месторождений, непрерывно возрастает стоимость природных материальных ресурсов. В то же время, в зависимости от отрасли промышленности и технологического процесса производства, от 10 до 99 % природного исходного сырья не превращается в конечный потребительский продукт, а становится побочным продуктом, т.е. отходом промышленности. Скопление этих отходов, год от года возрастает. Отвалы и терриконы занимают значительные площади земельных угодий, загрязняют атмосферу, грунтовые воды, наносят непоправимый ущерб природе [1].

Основополагающие свойства мелкозернистых бетонов, влияющие на их долговечность и срок службы изготовленного из них изделия, такие как прочность, деформативность, химическая стойкость и прочие, во многом, зависят от свойств применяемого заполнителя. С уменьшением модуля крупности заполнителя его влияние на свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона возрастает. Однако, на большей части территории Украины, в том числе и в нашем регионе, преобладают мелкие днепровские пески с модулем крупности 1,35 – 1,53. Кроме того, речной песок имеет большое количество пылевидных илистых и глинистых частиц, которые создают пленку на его поверхности и препятствуют прочному сцеплению заполнителя и цемента, ухудшая прочность бетона и вызывая повышенные усадочные деформации и появление трещин в бетоне [2, 3, 4]. Таким образом, этот песок непригоден для производства качественного высокопрочного мелкозернистого бетона при традиционной технологии его изготовления.

Вместе с тем, в качестве мелкого заполнителя для производства мелкозернистого бетона можно использовать отход черной металлургии – доменный гранулированный шлак. Так, опыты проведенные советским ученым Ю. М. Лещинским еще в 50-х годах подтверждают факт целесообразности применения гранулированных доменных шлаков вместо песка. Исследователь заменил 50 % мелкого песка на шлак и получил механическую прочность бетона на 60 % выше [2].

Учитывая специфику структуры и физико-механических свойства доменных гранулированных шлаков для управления качеством строительных изделий на их основе необходима специальная обработка шлака. Наиболее эффективной, с нашей точки зрения, является механохимическая активация домен-

ного гранулированного шлака, позволяющая значительно улучшить ряд его свойств.

Анализ последних исследований и публикаций. Многие ученые как в нашей стране, так и за ее пределами занимаются проблемой повышения качества вторичных материальных ресурсов и получения на их основе эффективных, конкурентоспособных строительных материалов. Особый интерес исследователей, в последнее время, вызывает механическая активация материалов. Современные разработки новых строительных материалов на основе механо-активированного сырья связаны с трудами Барабаша И.В., Федоркина С.И., Дворкина Л.И., Мироненко А.В., Урханова Л.А., Шинкевич Е.С., Кузьмина В.П., Дугуева С.В., Иванова В.Б., Прокопец В.С. и др.

Целью настоящей работы является исследование физико-механических свойств, активированного и неактивированного доменного гранулированного шлака, а также определение прочностных характеристик мелкозернистых бетонов, изготовленных на их основе.

Основная часть. Доменный гранулированный шлак представляет собой крупнозернистый пористый песок с включениями зерен мелкого щебня. Получают его путем быстрого охлаждения огненно-жидкого алюмосиликатного расплава, образующегося при выплавке чугуна [2, 3].

Наиболее важными свойствами доменного гранулированного шлака, используемого в качестве заполнителя мелкозернистого бетона является его гранулометрический (зерновой) состав и модуль крупности, пустотность и водопотребность. При этом зерновой состав является наиболее переменной его характеристикой.

Ряд авторов [2, 4 – 6] рекомендует для получения экономичных и прочных мелкозернистых бетонов применять заполнители с оптимальным гранулометрическим составом, имеющим достаточное количество крупных и мелких фракций. В этом случае обеспечивается наилучшая плотность укладки зерен заполнителя и оптимальное число их контактов, т.к. мелкие зерна заполнителя располагаются в пустотах между более крупными. В итоге формируется жесткий и прочный скелет бетона [4]. При этом каждый состав бетона имеет свой оптимальный гранулометрический состав заполнителя, при котором бетонная смесь характеризуется минимальным показателем водопоробности, а бетон – максимальным значением плотности и прочности. Так, по данным [2], для тощих шлакобетонных смесей, при соотношении Ц:Ш = 1:6, оптимальное содержание в шлаке зерен мелкой фракции, размером менее 0,14 мм, составляет 20 – 30 %, а для жирных смесей, при соотношении Ц:Ш = 1:2 – 10 – 15 %. Объясняется данный факт тем, что в тощих смесях мелкие и пылевидные частицы шлака заменяют часть вяжущего и выполняют роль тонкодисперсного микрозаполнителя, улучшающего структуру и свойства бетона.

Важной характеристикой мелкого заполнителя, связанной с его гранулометрическим составом, является пустотность. Она влияет на расход вяжущего в бетоне, т. к. чем больше пустот, тем больше потребуется вяжущего для их заполнения. Известно, что мелкий заполнитель характеризуется высокой пустотностью.

Для оценки влияния заполнителя на подвижность бетонной смеси используют такой показатель, как водопотребность. Учет данной характеристики заполнителя помогает получить более точные технологические расчеты бетона, в частности расчет его состава, т.к. водопотребность заполнителя колеблется в широких пределах [4]. Водопотребность гранулированного доменного шлака, ввиду его высокой пустотности, выше водопотребности природного песка.

В данной работе исследовался доменный гранулированный шлак Днепропетровского металлургического завода им. Петровского мокрого способа охлаждения.

Отобранные пробы гранулированного шлака испытывались в лабораториях ПГАСА, где определялись гранулометрический состав и модуль крупности, насыпная плотность, пустотность и водопотребность в соответствии с ГОСТом 9758-86.

Гранулометрический состав и физико-механические свойства гранулированного шлака приведены в таблице 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Гранулометрический состав доменного гранулированного шлака

№ пробы	Частные остатки, % по массе, на контрольных ситах с размером отверстий сит, мм						
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Дно
1	16	19,0	21,2	33,0	18,0	5,5	3,3
2	12,8	27,0	20,5	30,5	14,0	6,0	2,0

Таблица 2

Физико-механические свойства доменного гранулированного шлака

№ пробы	Насыпная плотность, кг/м ³	Пустотность, %	Модуль крупности	Водопотребность, %
1	780	70	3,2	35,73
2	805	69	3,42	34,42

Как показали результаты исследований, данный шлак характеризуется высокими показателями пустотности и водопотребности, т.к. в его зерновом составе слишком мало мелких частиц и слишком много крупных фракций. С помощью технологических приемов измельчения можно в широких пределах изменять зерновой состав шлака. При этом основное влияние на эту характеристику оказывает вид помольной установки и осуществляемый в ней способ разрушения частиц материала. К основным способам механического разрушения частичек твердого материала при измельчении относятся: раскалывание, истирание, раздавливание, свободный или стесненный удар и др. На практике, в измельчающем аппарате происходит комбинация нескольких способов, наиболее распространенными среди которых являются раздавливание и истирание (шаровая мельница), удар и раздавливание (дезинтегратор) [7].

При выборе наиболее эффективной машины для измельчения доменного гранулированного шлака необходимо учитывать особенности его структуры и свойств. Зерна доменного гранулированного шлака при обычной температуре представляют собой хрупкое тело, а согласно теории дробления твердых тел наиболее действенным способом разрушения хрупких материалов является удар или раскалывание [2]. Следовательно, требуется применять помольные установки с ударным способом разрушения.

Нами, в качестве измельчителя был применен лабораторный смеситель-активатор роторного типа. Принцип его действия ударно-истирающий. Преимуществом данного устройства является то, что при производстве мелкозернистого бетона в нем можно совместить несколько технологических операций, а именно гомогенное перемешивание компонентов смеси, обогащение сырьевых материалов (очистение их частичек от загрязняющих веществ) и их механическую активацию (образование свежих поверхностей). Общий вид лабораторного смесителя-активатора представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Общий вид лабораторного смесителя-активатора роторного типа

Исследуемый доменный гранулированный шлак в количестве 8 кг увлажнялся 5 % воды и помещался в емкость смесителя-активатора. Время обработки изменялось с интервалом в 15 с при скорости вращения ротора 12 м/с. После этого измельченный шлак высушивался и подвергался рассеву согласно ДСТУ Б В.2.7-232:2010. Кроме того определялись основные физико-механические свойства полученного продукта в соответствии с ГОСТом 9758-86 (водопотребность) и ДСТУ Б В.2.7-232:2010. Результаты испытаний сведены в таблицы 3 и 4.

Таблица 3

Гранулометрический состав доменного гранулированного шлака после его обработки в смесителе-активаторе

Время активации, с	Частные остатки, % по массе, на контрольных ситах с размером отверстий сит, мм						
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Дно
15	3,2	10,5	14,0	22,0	16,5	17,5	19,5
30	1,25	6,0	16,0	23,0	17,5	16,0	21,5
45	0,75	7,5	15,0	18,0	19,5	17,5	22,5
60	0,29	5,5	13,5	20,0	18,0	20,0	23,0
90	0,25	4,5	13,5	17,5	22,0	17,0	25,5

Таблица 4

Физико-механические свойства доменного гранулированного шлака после его обработки в смесителе-активаторе

Время активации, с	Насыпная плотность, кг/м ³	Пустотность, %	Модуль крупности	Водопотребность, %
15	1350	47,35	2,25	20,6
30	1385	46,8	2,14	18,8
45	1425	44,7	2,08	17,5
60	1453	43,9	1,975	15,4
90	1525	42	1,9	14,8

Как показали результаты исследований (табл. 3), обработанный шлак характеризуется пониженным содержанием крупных фракций (5 – 2,5 мм) и повышенным содержанием мелких фракций (0,14 мм и менее). Так, в обработанном шлаке количество зерен размером 5 мм уменьшилось с 13 – 16 % до 0,25 – 3 %, а количество зерен размером менее 0,14 мм увеличилось с 2,0 – 3,5 % до 19,5 – 25,5 %.

Анализ полученных данных (табл. 4) свидетельствует о том, что модуль крупности, водотребность и пустотность шлака уменьшаются с повышением времени его обработки в смесителе-активаторе. Однако эффективность обработки наиболее велика в первые секунды. Оптимальные значения основных физико-механических свойств соответствуют шлаку, обработанному в течении 30 – 45 с. Дальнейшая обработка нецелесообразна, т. к. требует значительных энергозатрат без существенного улучшения свойств обрабатываемого материала. Разрушение зерен шлака происходит по сетке микротрещин в их структуре, дефектным местам. По мере обработки количество микротрещин в шлаке уменьшается, частицы приобретают более совершенную кристаллическую решетку, что позволяет увеличить механическую прочность зерен шлака. Следовательно, чем меньше размеры частицы, полученной в результате обработки тем больше требуется энергии для ее разрушения. Кроме того, при обработке выделяется значительное количество тепла, которое приводит к нагреву как мелющих тел, так и самого измельчаемого материала. Чем выше дисперсность

конечного продукта, тем выше его температура. Все эти процессы вызывают повышение энергопотребления, снижение производительности и эффективности работы измельчающего аппарата.

Таким образом, для дальнейших исследований принимается время обработки материала 30 – 45 с.

Для подтверждения эффективности применения механической активации в технологии производства строительных изделий изготавливались образцы кубы мелкозернистого бетона, размером 7,07×7,07×7,07 см на основе обработанных в смесителе-активаторе компонентов бетонной смеси. Образцы бетона испытывались на прочность при сжатии в ранние и поздние сроки твердения согласно ДСТУ Б В.2.7-224:2009. В качестве вяжущего применялся портландцемент марки ПЦ II / Б – Ш – 400. Бетонная смесь приготавливалась в смесителе-активаторе роторного типа следующим образом: шлак и цемент загружались в емкость машины, включалась установка и постепенно в течении 30 с добавлялась вода затворения. Всего время обработки составляло 40 – 45 с. Для сравнения результатов изготавливались образцы-кубы бетона размером 7,07×7,07×7,07 см на основе шлака, просеянного через сито с размером отверстий 5 мм. Бетонная смесь приготавливалась в смесителе принудительного действия в течении 3 – 4 мин. В обоих экспериментах бетонная смесь готовилась одинаковой подвижности и состава. Условия уплотнения и твердения образцов были аналогичными.

На рисунке 2 приведены результаты исследований набора прочности активированного и неактивированного мелкозернистого бетона.

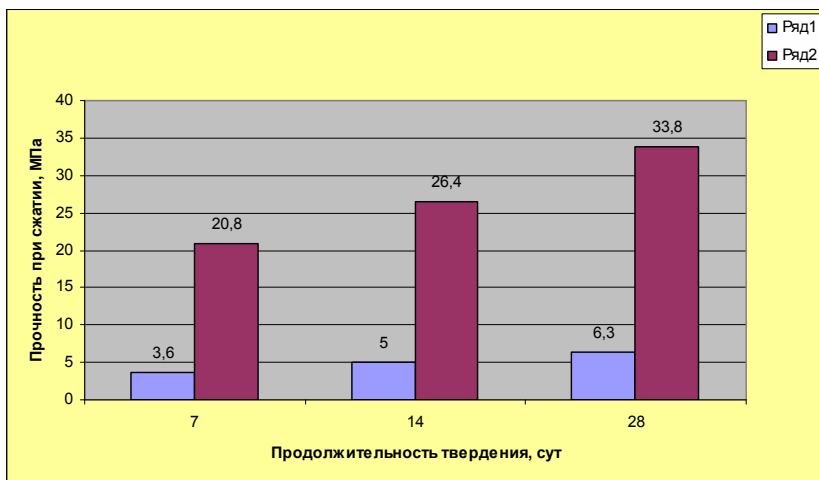


Рис. 2. Кинетика набора прочности мелкозернистого бетона: Ряд 1 – неактивированный бетон; Ряд 2 – активированный бетон.

Прочность активированного мелкозернистого бетона намного выше неактивированного, особенно существенно различие ранней прочности бетона (рис. 2). Так, прочность при сжатии активированных образцов-кубов в 7-суточном возрасте составляет 20,8 МПа, а неактивированных – 3,6 МПа. Существенная интенсификация процесса твердения бетона объясняется аморфизацией поверхностных слоев заполнителя, увеличением реакционной способности вяжущего и заполнителя в результате образования свежих поверхностей и изменения энергетического состояния обрабатываемых материалов под воздействием механической энергии [1].

Выводы. Таким образом, проведенные исследования подтвердили эффективность применения механоактивации в производстве мелкозернистого бетона при использовании в качестве заполнителя доменного гранулированного шлака. Данная обработка материалов позволяет управлять физико-механическими свойствами мелкозернистых бетонов на основе доменных гранулированных шлаков за счет следующих положительных эффектов: оптимизации гранулометрического состава шлака, улучшения его физико-механических свойств, повышения реакционной способности компонентов бетонной смеси, увеличения адгезии цементного камня и заполнителя, интенсификации процессов твердения.

Использованная литература

1. Большаков В.И. Повышение реакционной способности доменного гранулированного шлака / В.И. Большаков, М.А. Елисеева, С.А. Щербак // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия: «Стародубовские чтения 2011»: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск, 2011. – Вып.59, том II. – С. 34-38.
2. Федьнин Н.И. Высокопрочный мелкозернистый шлакобетон / [Федьнин Н.И., Диамант М.И.]. – М., Стройиздат. – 1975. – 176 с.
3. Щербак С.А. Научные основы управления структурой строительных материалов на основе металлургических шлаков: дис. ... доктора техн. наук: 05.23.05 / Щербак Святослав Андреевич. – Днепропетровск, 2001. – 345 с.
4. Баженов Ю.М. Технология бетонов: [учеб. пособие для технол. спец. строит. вузов. 2-е изд., перераб.] / Юрий Михайлович Баженов. – М.: Высш. шк., 1987. – 415 с.
5. Гусев Б.В. Свойства мелкозернистых бетонов при различных способах уплотнения / Б.В. Гусев, И.Н. Минсадров, В.Д. Кудрявцева // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 5. – С. 48-50.
6. Мирюк О.А. Мелкозернистые бетоны на основе техногенного заполнителя / О.А. Мирюк // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – № 2. – С. 5 – 8.
7. Большаков В.И. Повышение прочности мелкозернистого бетона путем механохимической активации его компонентов / В.И. Большаков, М.А. Елисеева, С.А. Щербак // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия: «Создание высокотехнологических социоконструкций в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития»: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск, 2011. – Вып.60. – С. 26-31.