

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДОМЕННЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ШЛАКОВ НА ИХ СВОЙСТВА

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

Ключевые слова: доменные гранулированные шлаки, заполнители бетона, высокоскоростная обработка, механическая активация, обогащение, смеситель-активатор роторного типа, физико-механические свойства, аморфизация

Постановка проблемы. основополагающие свойства 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. При этом в объеме бетона заполнители могут занимать до 80 %, а их стоимость может составлять до 30 – 50 % от себестоимости бетонных и железобетонных конструкций, поэтому необходимо вовлечение в строительную отрасль доступных и дешевых заполнителей. Это снизит стоимость строительства, уменьшит объем транспортных перевозок [1]. Решить эти проблемы можно используя в качестве заполнителей вторичные материальные ресурсы, что позволит приостановить рост отвалов в районах расположения промышленных заводов.

В Приднепровском регионе одними из наиболее крупнотоннажных отходов являются шлаки черной металлургии, в частности, доменные гранулированные шлаки. Многие ученые, учитывая специфику структуры и физико-механических свойств доменных гранулированных шлаков для управления качеством строительных изделий, на их основе рекомендуют проводить специальную обработку шлаков перед использованием. Наиболее эффективной, с нашей точки зрения, является высокоскоростная обработка сырья, которая обеспечивает одновременное проведение обогащения, механической активации и домола материала, а, следовательно, способствует значительному улучшению ряда его свойств.

Анализ литературы. Многие исследователи 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 ученых в последнее время вызывает высокоскоростная обработка материалов или их механическая активация. Современные разработки новых строительных материалов на основе механоактивированного сырья связаны с трудами И. В. Барабаша, С. И. Федоркина, Л. И. Дворкина, Л. А. Урхановой, Е. С. Шинкевич, В. П. Кузьминой, С. В. Дугуева, В. Б. Ивановой, В. С. Прокопца и др.

Целью работы является изучение основных свойств доменных гранулированных шлаков, используемых в качестве мелкого заполнителя в бетонах, до и после обработки в лабораторном смесителе-активаторе роторного типа.

Основная часть. В качестве мелкого заполнителя для бетонов нами использовался гранулированный доменный шлак производства ПАО «Евраз – Днепропетровский металлургический завод им. Петровского». Как известно [2], природное и техногенное сырье содержит радионуклиды (радий-226, торий-232, калий-40 и др.), являющиеся источниками γ -радиоизлучений. Количество этих веществ в составе техногенного сырья выше, чем в составе материалов естественного происхождения. Поэтому при использовании вторичных материальных ресурсов как сырья для производства строительных материалов и изделий необходимо производить оценку их радиационного качества, которое для строительных материалов устанавливается по величине удельной активности радионуклидов.

Радиологические исследования доменного гранулированного шлака выполнялись гамма-спектрометрическим методом измерения при помощи прибора СЭГ-001 «АКП-С». Результаты радиологического анализа представлены в таблице 1.

Таким образом, исследуемые образцы доменного гранулированного шлака производства ПАО «Евраз-Днепропетровский металлургический завод им. Петровского» по содержанию эффективной удельной активности природных радионуклидов соответствуют требованиям 1-го класса строительных материалов согласно ДБН В. 1.4-1.01-97 [3] ($A_{эф}$ не более 370 Бк/кг) и шлак может применяться для всех видов строительства.

В качестве активатора применялся лабораторный смеситель-активатор роторного типа РС-06, ударно-истирающего действия, техническая характеристика которого представлена в таблице 2.

Таблица 1

Радиационное качество доменного гранулированного шлака

№ п/п	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг			A _{эф} , Бк/кг	Класс применения
	Торий-232	Радий-226	Калий-40		
1	25	54	<63	<93	Первый
2	23	68	<67	<104	Первый

Таблица 2

Техническая характеристика лабораторного смесителя-активатора РС-06

Технические характеристики установки	Единица измерения	Величина
Число оборотов ротора	мин.	1440
Число ребер на роторе	–	4
Скорость вращения на периферии рабочего органа	м/с	12
Внутренний диаметр корпуса смесителя и диаметр ротора	м	0,31
Внутренняя высота корпуса смесителя	м	0,305
Высота ротора	м	0,05
Мощность электродвигателя	кВт	7
Габаритные размеры:	м	
длина		1,3
ширина		0,7
высота		1
Масса	т	0,4
Внутренний объем смесителя, не более	м ³	0,027

Рабочим органом данной установки является ротор, представляющий собой усеченный конус, основанием которого служит меньший диаметр с перегородками, закрепленный на вертикальном валу. Он расположен внутри цилиндрического корпуса, в нижней его части, и приводится во вращение от электропривода посредством клиноременной передачи. Привод снабжен устройством для регулирования натяжения ремней.

Для установления рационального режима активации гранулированного доменного шлака были определены следующие его физико-механические свойства до и после обработки в активаторе: структура, насыпная плотность, пустотность, водопотребность, модуль крупности, гранулометрический состав и степень аморфизации.

Исследуемый доменный гранулированный шлак в количестве 8 кг увлажнялся 5 % воды и помещался в емкость смесителя-активатора. Время обработки изменялось с интервалом в 15" при скорости вращения ротора 12 м/с. После этого обработанный шлак высушивался и подвергался рассеву согласно ДСТУ Б В.2.7-232:2010 [4]. Кроме того, определялись основные физико-механические свойства полученного продукта в соответствии с ГОСТом 9758-86 [5] (водопотребность) и ДСТУ Б В.2.7-232:2010 [4]. Результаты испытаний представлены в таблице 3 и на рисунке 1.

Таблица 3

Гранулометрический состав доменного гранулированного шлака

Время активации, с	Частные остатки, % по массе, на контрольных ситах с размером отверстий сит, мм						
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Дно
0	16,0	19,0	21,2	33,0	18,0	5,5	3,3
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

Как показали результаты исследований (табл. 3), обработанный гранулированный шлак, по сравнению с исходным, характеризуется пониженным содержанием крупных фракций (5 – 2,5 мм) и повышенным содержанием мелких фракций (0,16 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 0,16 мм увеличилось с 2,0 – 3,5 % до 19,5 – 25,5 %. Мелкие фракции активированного шлака при его использовании в бетоне могут играть роль активного минерального микронаполнителя.

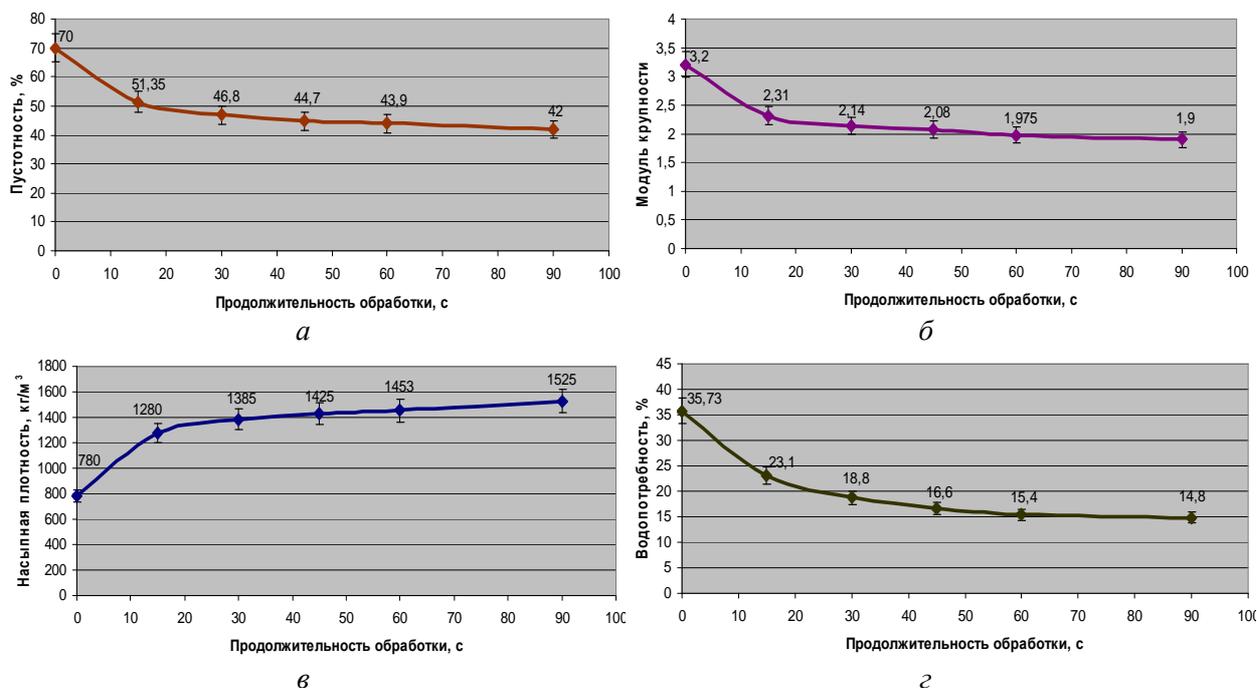


Рис. 1. Графики зависимости свойств доменного гранулированного шлака от продолжительности обработки в смесителе-активаторе:
а – пустотность; б – модуль крупности; в – насыпная плотность;
г – водопотребность

Согласно данным, представленным на рисунке 1: модуль крупности, водотребность и пустотность шлака уменьшаются с повышением времени обработки в смесителе-активаторе, а его насыпная плотность, наоборот, увеличивается. Однако эффективность обработки наиболее велика в первые секунды. Оптимальные значения основных физико-механических свойств соответствуют шлаку, обработанному в течение 30 – 45". Дальнейшая обработка нецелесообразна, так как требует значительных энергозатрат без существенного улучшения свойств обрабатываемого шлака.

Структура доменного гранулированного шлака до и после обработки в смесителе-активаторе также отличается (рис. 2).

Результаты исследований (рис. 2) показали, что активированный заполнитель практически

не имеет пор и характеризуется более светлым цветом, чем образец неактивированного материала. Этот фактор объясняется уменьшением размеров частиц обработанного шлака. Кроме того, изменилась морфология поверхности активированных частиц. Вместо гладкой поверхности, как у необработанного в активаторе шлака, она стала высокоразвитой рельефной. В целом структура поверхностных слоев частиц шлака приобрела разрыхленный аморфизированный вид. Это свидетельствует о механической деструкции материала после его активации. Как известно [6; 7], аморфизированная поверхность любого материала является активной подложкой, на которой во время гидратации формируются минералы системы.

Определение физико-химических изменений, произошедших в обработанном гранулированном шлаке, проводилось при помощи рентгенографического анализа. Исследования осуществлялись на дифрактометре ДРОН-4 с трубкой из медного анода БСВ-23. Съёмка выполнялась в Cu излучении, отфильтрованном отражением от плоского монохроматора из графита, который располагался на вторичном пучке перед счетчиком.

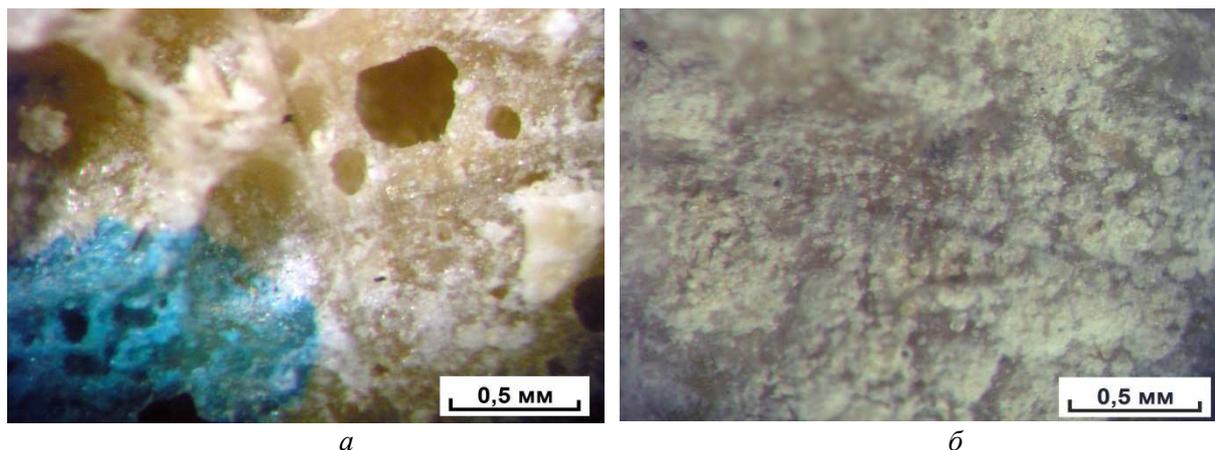


Рис. 2. Структура частицы доменного гранулированного шлака:
а – неактивированной. Голубое пятно в нижнем левом углу появилось в результате нашего окрашивания этой зоны частички маркером; *б* – активированной 45" в смесителе-активаторе

Полученные дифрактограммы порошков заполнителя (рис. 3) свидетельствуют об искажении кристаллической решетки поверхностных слоев активированного доменного гранулированного шлака и аморфизации его поверхности. С увеличением продолжительности обработки относительная интенсивность пиков уменьшается, а их ширина, наоборот, возрастает.

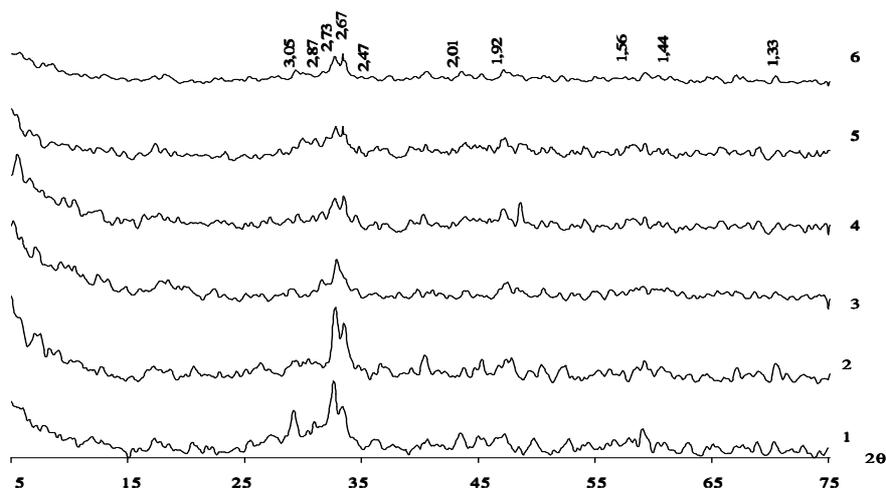


Рис. 3. Дифрактограммы порошков доменного гранулированного шлака:
 1 – исходный; 2 – 6 – активированный в течение 15, 30, 45, 60 и 90" соответственно

Степень аморфизации материала, согласно работе [8], можно рассчитать по следующей формуле:

$$A = 100 - K, \quad (1)$$

где K – коэффициент аморфизации, рассчитываемый по формуле:

$$K = \frac{I_{\text{изм}}}{I_{\text{исх}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $I_{\text{изм}}$ – интенсивность основных рефлексов, активированной пробы материала; $I_{\text{исх}}$ – интенсивность исходной пробы материала. При этом принимается, что исходный материал является кристаллическим и не содержит аморфной фазы.



Рис. 4. Изменение аморфизации доменного гранулированного шлака при активации

Наибольшую степень аморфизации имеет шлак, активированный 45, 60 и 90" (рис. 4).

На основании проведенных исследований рекомендуемое время обработки доменных гранулированных шлаков в лабораторном смесителе-активаторе роторного типа составляет 45 – 60".

Преимуществом представленного смесителя-активатора является и то, что при изготовлении бетонных смесей он позволяет проводить одновременно перемешивание, обогащение и активацию с частичным домолом компонентов бетонной смеси в присутствии необходимого количества воды. Приготовление смесей формовочной влажности дает возможность повысить их качество и значительно упростить технологический процесс изготовления изделий. Исключаются затраты, связанные с обустройством дополнительных смесительных установок и транспортировки к ним активированных смесей.

Выводы. Как показали результаты исследований, высокоскоростная обработка доменных гранулированных шлаков в лабораторном смесителе-активаторе роторного типа позволила достигнуть следующих положительных результатов:

- улучшить гранулометрический состав заполнителя, а именно, уменьшить содержание крупных фракций с 13 – 16 % до 0,25 – 3 %, увеличить содержание более активных средних и мелких фракций;

- снизить величины пустотности, модуля крупности и водопотребности, повысить значение насыпной плотности используемых шлаков, что является необходимым условием для получения прочных бетонов. Так, для заполнителя, активируемого 45", значение его насыпной плотности увеличилось на 77 – 82 %, величины пустотности, модуля крупности и водопотребности уменьшились соответственно на 35 – 36 %, 36 – 40 % и 51 – 53 %;

- видоизменить структуру поверхностных слоев частиц шлака, которая приобрела разрыхленный аморфизированный вид;

- увеличить степень аморфизации доменных гранулированных шлаков на 18,9; 35,5; 38,8; 51,5 и 55,6 % при времени активации 15, 30, 45, 60 и 90 секунд соответственно.

Таким образом, обработанные доменные гранулированные шлаки с улучшенными свойствами позволят получить качественные конкурентоспособные изделия, изготовленные на их основе.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Баженов Ю. М.** Технология бетонов: [учеб. пособие, 2-е изд.] / Юрий Михайлович Баженов. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – 500 с.
2. Радиационное качество жилых зданий и пути его обеспечения: [учеб. пособие] / [И. А. Соколов, В. Ф. Запрудин, А. С. Беликов и др.]. – Д. : ПГАСА, 2007. – 348 с.

3. Система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів в будівництві. Регламентовані радіаційні параметри. Допустимі рівні : ДБН В. 1.4-1.01-97. – [Чинний від 1998-01-01]. – К. : Государственный комитет Украины по делам градостроительства и архитектуры, 1997. – 16 с. – (Національні стандарти України).
4. Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань : ДСТУ БВ. 2.7-232:2010. – [Чинний від 2011-01-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 44 с. – (Національні стандарти України).
5. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний : ГОСТ 9758-86. – [Действующий от 1988-01-01]. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 40 с. – (Национальные стандарты Украины).
6. **Федынин Н. И.** Высокопрочный мелкозернистый шлакобетон / [Н. И. Федынин, М. И. Диамант]. – М. : Стройиздат, 1975. – 176 с.
7. **Шинкевич Е. С.** Технологические особенности производства силикатных изделий неавтоклавного твердения / Е. С. Шинкевич, Е. С. Луцкин // Строительные материалы. – 2008. – № 11. – С. 54 – 56.
8. **Молчанов В. И.** Физические и химические свойства тонкодиспергированных минералов / В. И. Молчанов, Т. С. Юсупов. – М. : Недра, 1981. – 160 с.

УДК 669.431.6:666.972.124

Влияние высокоскоростной обработки доменных гранулированных шлаков на их свойства / В. И. Большаков, М. А. Елисева, С. А. Щербак // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПГАСА, 2013. – № 8. – С. 4 – 9. – рис. 4. – табл. 3. – Библигр.: (8 назв.).

Исследуются основные свойства доменных гранулированных шлаков до и после высокоскоростной обработки в лабораторном смесителе-активаторе роторного типа с целью улучшения их качества и возможности применения для изготовления бетонов с высокими механическими и эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: доменные гранулированные шлаки, заполнители бетона, высокоскоростная обработка, механическая активация, обогащение, смеситель-активатор роторного типа, физико-механические свойства, аморфизация.

Вплив високошвидкісної обробки доменних гранульованих шлаків на їх властивості / В. І. Большаков, М. О. Єлісеєва, С. А. Щербак // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПДАБА, 2013. – № 8. – С. 4 – 9. – рис. 4. – табл. 3. – Бібліогр.: (8 назв.).

Досліджуються основні властивості доменних гранульованих шлаків до і після високошвидкісної обробки в лабораторному змішувачі-активаторі роторного типу з метою поліпшення їх якості та можливості використання для виготовлення бетонів із високими механічними та експлуатаційними характеристиками.

Ключові слова: доменні гранульовані шлаки, заповнювачі бетону, високошвидкісна обробка, механічна активація, збагачення, змішувач-активатор роторного типу, фізико-механічні властивості, аморфізація.

Effect of high-speed processing of granulated blast-furnace slag on its properties / V. I. Bolshakov, M. O. Eliseeva, S. A. Shcherbak // Vistnyk of Pridneprovsk state academy of civil engineering and architecture. – D. : PSACEA, 2013. – № 8. – P. 4 – 9. – pic. 4. – tabl. 3. – Bibliogr.: (8 names).

The basic properties of granulated blast-furnace slag before and after high-speed processing in a laboratory rotary mixer-activator in order to improve their quality and possibility of applying for manufacture of concrete with high mechanical and operational characteristics are investigated in the article.

Key words: granulated blast-furnace slag, concrete aggregates, high-speed processing, mechanical activation, beneficiation, rotary mixer-actuator, physical and mechanical properties, amorphization.