

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 666.973.6

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-185-191

*Н.К. СКРИПНИКОВА, В.В. ШЕХОВЦОВ, Д.К. ГРИГОРЕВСКАЯ,
М.А. СЕМЕНОВЫХ, И.Ю. ЮРЬЕВ,*

Томский государственный архитектурно-строительный университет

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИИ

Рассмотрен подход к актуальному на данный момент вопросу утилизации отходов металлургической промышленности путем их внедрения в состав мелкозернистых бетонов. В качестве утилизируемого техногенного отхода использовался доменный шлак производства ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». По данным приведенной рентгенограммы установлено, что доменный шлак в основном представлен такими компонентами, как гидросиликаты железа, гидросиликаты кальция, кварц, карбонат и углерод. Выявлено, что влияние карбонатосодержащих добавок способствует тому, что в их присутствии в процессе гидротермальной обработки мелкозернистого бетона при продолжающемся процессе гидратации цемента, также при взаимодействии гидроксида кальция с песком образуются гидросиликаты кальция, имеющие в своем составе карбонатные группы (гидрокарбосиликаты кальция), близкие к составу гидросиликатных фаз. Образование этих продуктов в процессе производства бетона способствует повышению прочностных показателей получаемого материала, а в процессе его службы снижается возможность позднего образования аналогичных фаз, что способствует минимизации масштабов углекислотной коррозии и снижению усадочных деформаций, сопровождающих этот процесс. Установлено, что использование доменного шлама в качестве мелкого заполнителя в бетонной смеси приводит к повышению плотности материала на 14 %, прочность увеличивается на 11,2 %, а водопоглощение при этом снижается на 5 %, что положительно сказывается на морозостойкости бетонного изделия. Таким образом, полученные образцы мелкозернистого бетона с использованием такого отхода черной металлургии, как доменный шлак, обеспечивают марку бетона М250.

Ключевые слова: промышленные отходы; строительные материалы; бетон; утилизация; шлак.

Для цитирования: Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В., Григорьевская Д.К., Семеновых М.А., Юрьев И.Ю. Мелкозернистый бетон с использованием отходов металлургии // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 2. С. 185–191.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-185-191

N.K. SKRIPNIKOVA, V.V. SHEKHOVTSOV, D.K. GRIGOREVSKAYA,
M.A. SEMENOVYKH, I.YU. YUR'EV,
Tomsk State University of Architecture and Building

SMALL-GRAIN CONCRETE BASED ON METALLURGY WASTE

The paper presents the approach to the metallurgical waste recycling introducing them into the composition of fine-grained concretes. Blast-furnace produced by OOO 'EVRAZ ZSMK' is used as a recyclable waste. According to the X-ray diffraction patterns, the blast-furnace is mainly represented by such components as iron and calcium hydrated silicates, quartz, calcite and carbon. It is found that during the hydrothermal treatment of fine-grained concrete, carbonate-containing additives facilitate the formation of hydrated calcium silicates containing carbonate groups the composition of which is close to the that of hydrosilicate phases. The formation of these products in the concrete production contributes to the strength properties improvement in the material obtained and reduces the possibility of late formation of similar phases during its service. This minimizes the carbon dioxide corrosion and shrinkage deformation accompanying this process. It is shown that the use of blast-furnace as fine aggregate in the concrete mix increases the material density and strength by 14 % and 11.2 %, respectively. The water absorption decreases by 5 %, which positively affects the frost resistance of fine-grained concretes. The obtained fine-grained concrete provide can be used to produce the M250 concrete grade.

Keywords: industrial waste; construction materials; concrete; recycling; blast-furnace.

For citation: Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V., Grigorevskaya D.K., Semenovikh M.A., Yur'ev I.Yu. Melkozernisty beton s ispol'zovaniem otkhodov metallurgii [Small-grain concrete based on metallurgy waste]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 2. Pp. 185–191.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-185-191

Как известно, техногенные отходы металлургической промышленности являются крупнотоннажными отходами, использование которых в строительной индустрии наиболее актуально в наши дни при совершенствовании технологии производства бетонов и растворов с целью ресурсосбережения.

По основным строительно-техническим характеристикам, химическому и гранулометрическому составам они во многом идентичны природному сырью, а также обладают эффектом активной минеральной добавки и микронаполнителя [1].

С одной стороны, промышленные отходы являются одним из главных источников загрязнения окружающей среды, с другой – они представляют собой ценное минеральное сырье, которое может быть использовано в стройиндустрии для производства строительных материалов [2]. Применение отходов металлургии позволяет регулировать технологические свойства бетонной смеси, направлено модифицировать свойства бетонов и обеспечивать получение готовой продукции требуемого качества при достижении экономии заполнителей и портландцемента.

В современном строительстве промышленного и гражданского назначения широко используются материалы гидротермального твердения, в частности бетоны различного назначения – мелкозернистый, тяжелый и др. [3].

Мелкозернистый бетон, наряду с тяжелым, используется в строительном производстве для промышленного и частного строительства, возведения гидросооружений, прокладки дорог и производства декоративных покрытий [4].

Успешно проведенные научные исследования в области бетонных изделий доказали, что благоприятным фактором для составов мелкозернистых бетонов является возможность использования такого вида отходов черной металлургии, как доменный шлак [5]. Доменный шлак – это техногенный отход, образующийся при производстве металлов в виде суспензий дисперсных частиц. Его особенностью является то, что данное вторичное сырье уже прошло высокотемпературную обработку, кристаллические структуры в отходах сформированы, и они не содержат органических примесей [6]. Использование шлака позволит решить проблему утилизации техногенных отходов, а также снизить затраты на изготовление бетонной продукции.

Целью настоящей работы являлось получение мелкозернистых бетонов с использованием отходов металлургической промышленности. В ходе эксперимента мелкий заполнитель в составе бетона был частично заменен на шлак доменного производства. В качестве утилизируемого отхода применялся доменный шлак производства ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Данное решение было основано на том, что химический состав шлака является многокомпонентной системой, способствующей увеличению химических реакций по созданию силикатных систем с различным содержанием гидросиликатов кальция, которые ответственны за прочностные показатели. Рентгенофазовый анализ металлургического шлака приведен на рис. 1.

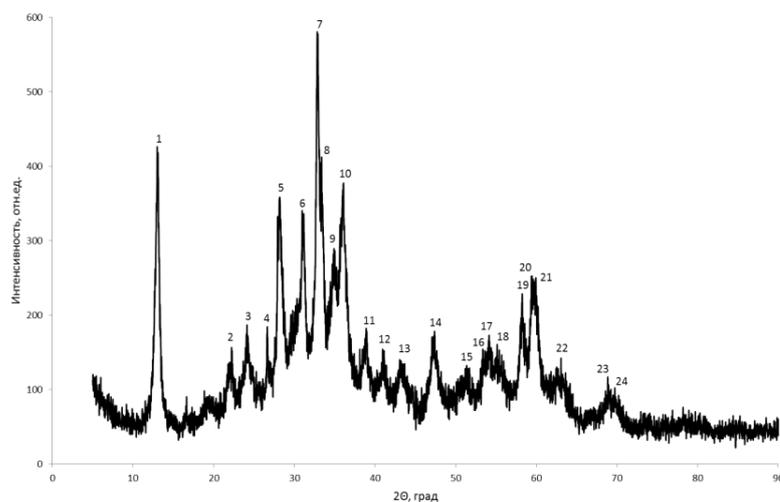


Рис. 1. Рентгенограмма доменного шлака

Из представленной рентгенограммы следует, что доменный шлак в основном представлен следующими компонентами: гидросиликатами железа ($d = 6,81$ нм пик 1; $d = 1,55$ нм пик 20), гидросиликатами кальция ($d = 2,31$ нм пик 11), кварцем ($d = 3,16$ нм пик 5; $d = 2,88$ нм пик 6), карбонатом ($d = 2,73$ нм

пик 7; $d = 2,68$ нм пик 8; $d = 2,49$ нм пик 10; $d = 1,54$ нм пик 21), углеродом ($d = 1,92$ нм пик 14).

Из вышеперечисленного следует, что состав техногенного отхода характерен достаточно большим содержанием железосодержащих соединений (пики 1, 12, 15, 18, 19, 20, 22), углеродом (пики 4, 14, 17, 23), небольшим количеством карбонатов кальция и аморфной стеклофазы. Использование силикатных систем, отличающихся повышенным количеством железосодержащей фазы, приводит к образованию алюмоферритной составляющей.

Влияние карбонатосодержащих добавок заключается в том, что в их присутствии в процессе гидротермальной обработки мелкозернистого бетона при продолжающемся процессе гидратации цемента, а также при взаимодействии гидроксида кальция с песком образуются гидросиликаты кальция, имеющие в своем составе карбонатные группы (гидрокарбосиликаты кальция), близкие к составу гидросиликатных фаз. Образование этих продуктов в процессе производства бетона способствует повышению прочностных показателей получаемого материала, а в процессе его службы снижает возможность позднего образования аналогичных фаз, что способствует минимизации масштабов углекислотной коррозии и снижению усадочных деформаций, сопровождающих этот процесс [8].

Весь технологический процесс получения лабораторных образцов мелкозернистого бетона совпадал с технологией получения бетонных изделий в производственных условиях [9, 10] и включал следующие этапы: подготовка и дозирование основных компонентов бетонной смеси; замес бетонной смеси; формование смеси; тепловлажностная обработка в камере пропаривания.

В ходе работы было изготовлено по 10 образцов мелкозернистого бетона с частичной заменой мелкого заполнителя: содержание доменного шлама варьировалось до 50 %.

Изготовление лабораторных образцов осуществлялось следующим образом: песок, доменный шлак и цемент марки М400 взвешивались в соответствии с расчетом бетонной смеси на m^3 ($V/C = 0,55$; расход цемента $C = 471,95$ кг; расход мелкого заполнителя $\Pi = 1416,07$ кг; расход воды $B = 259,6$ кг). Далее они гомогенизировались и затворялись водой. В воду добавлялся пластификатор С-3 в количестве 1 % от массы цемента. Смесь тщательно перемешивалась до образования однородной массы и забивалась в формы размерами $70 \times 70 \times 70$ мм, подвергалась штыкованию и вибрированию на стационарной лабораторной виброплощадке. Бетонная смесь выдерживалась в формах течение 4 ч для схватывания цемента. Затем образцы погружались в пропарочную камеру и выдерживались в течение 6 ч при температуре $80-90$ °С. Далее следовало постепенное остывание изделий. После остывания образцы мелкозернистого бетона подвергались исследованию на такие физико-механические показатели, как плотность, прочность на сжатие и водопоглощение. На основе полученных данных были построены их графические интерпретации. Графики представлены на рис. 2.

Как видно из графиков, образцы, полученные с использованием шлама доменного производства, максимально похожи на эталонные образцы. При увеличении содержания отхода в составе бетонной смеси от 10 до 50 % проч-

ностные показатели увеличиваются на 12 %, а плотность – на 7 %. В то же время водопоглощение полученных образцов по сравнению с эталоном снижается на 5 %, что положительно сказывается на морозостойкости мелкозернистого бетона.

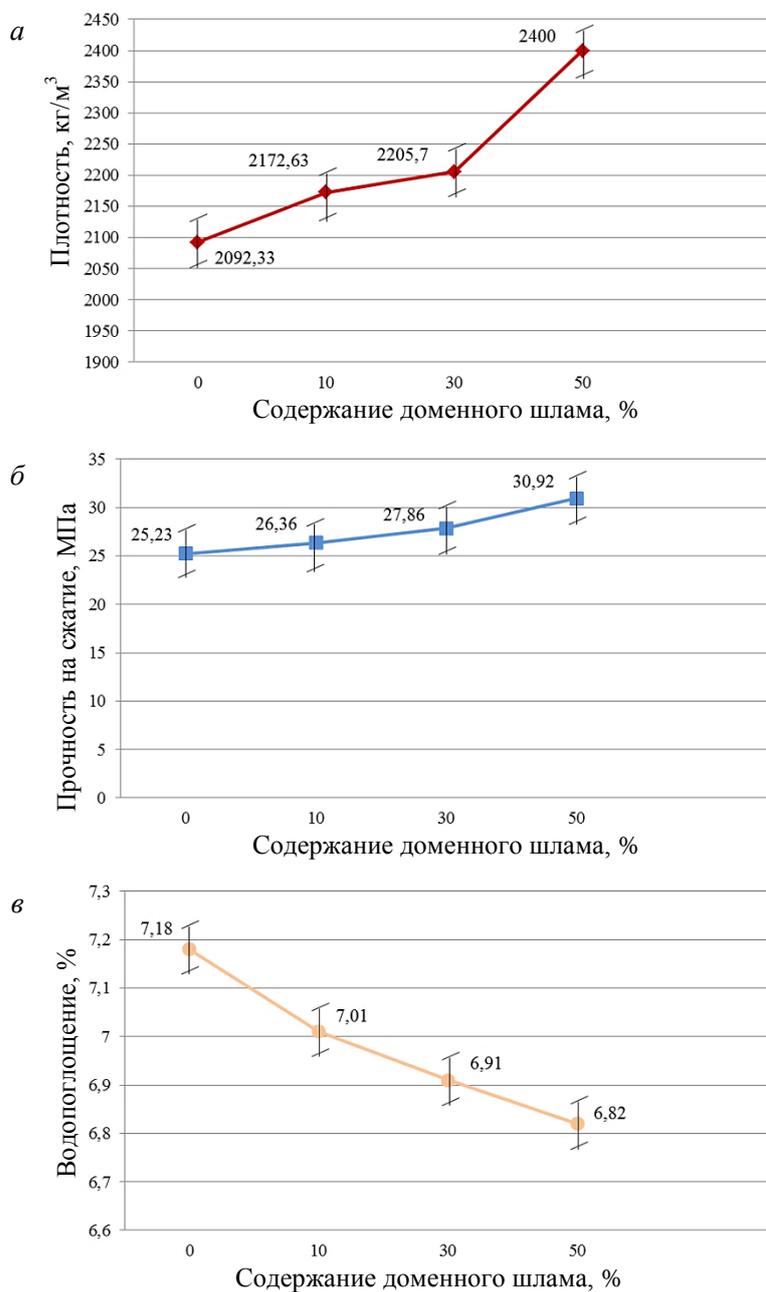


Рис. 2. Физико-механические характеристики мелкозернистого бетона с использованием доменного шлама:
а – плотность, кг/м³; б – прочность на сжатие, МПа; в – водопоглощение, %

Также на основании вышеприведенных данных следует, что полученные образцы мелкозернистого бетона с использованием такого отхода черной металлургии, как доменный шлак, обеспечивают марку мелкозернистого бетона М250.

В результате проведенных экспериментов установлена возможность получения бетонов с использованием техногенных отходов металлургического производства в виде доменного шлама с повышенными эксплуатационными характеристиками. Применение минерального и техногенного сырья в виде доменного шлама в производстве строительных материалов позволит не только получать изделия с улучшенными свойствами, но и расширить сырьевую базу отрасли, что будет только способствовать решению проблем по охране окружающей среды и улучшению экологической обстановки нашей планеты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скрипникова Н.К., Юрьев И.Ю., Литвинова В.А., Космачев П.В., Семеновых М.А. Использование золошлаковых отходов для получения различных видов строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 1. С. 1–4.
2. Федосов С.В., Щепочкина Ю.А., Румянцева В.Е. и др. Вторичные материальные ресурсы для строительной индустрии. Иваново : ИВГПУ, 2017. 188 с.
3. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов н/Д : Феникс, 2007. 369 с.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона. М. : Изд-во АСВ, 2003. 500 с.
5. Валеев Р.Ш., Шайхиев И.Г. Утилизация шламовых отходов теплоэнергетических центральных при производстве строительных материалов // Экология и промышленность России. 2010. № 2. С. 28–29.
6. Скрипникова Н.К., Юрьев И.Ю., Космачев П.В., Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Семеновых М.А. Влияние наноразмерного порошка диоксида кремния на обжиговые строительные материалы с использованием металлургических // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 2. С. 150–156.
7. Панова В.Ф. Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии. Новокузнецк : Изд-во СибГИУ, 2009. 289 с.
8. Козлова В.К., Карпова Ю.В., Маноха А.М. Состав алюминатно-алюмоферритных фаз и их продукты гидратации в различных цементах и смешанных вяжущих: монография. Часть I. Состав алюминатов, алюмоферритов и ферритов кальция и их продукты гидратации в различных условиях. Барнаул : Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, 2008. 302 с.
9. Трамбовецкий В.П. Бетон в современном строительстве // Технологии бетонов. 2006. № 2. С. 72–74.
10. Буравчук Н.И. Использование техногенного сырья в технологии бетонов // World Science: сб. тр. конф. (29–30 июня 2016 г., Карловы Вары – Москва). Киров, 2016. С. 34–45.

REFERENCES

1. Skripnikova N.K., Yuryev I.Yu., Litvinova V.A., Kosmachev P.V., Semenovych M.A. Ispol'zovanie zoloshlakovykh otkhodov dlya polucheniya razlichnykh vidov stroitel'nykh materialov [The use of ash and slag waste for production of various types of building materials]. *Stroitel'nye materialy*. 2015. No. 1. Pp. 1–4. (rus)
2. Fedosov S.V., Shchepochkina Yu.A., Rumyantseva V.E. et al. Vtorichnye material'nye resursy dlya stroitel'noi industrii [Secondary material resources for construction industry]. Ivanovo: IVGPU. 2017. 188 p. (rus)
3. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti [Building materials from industrial waste]. Rostov-on-Don: Feniks, 2007. 369 p. (rus)

4. *Bazhenov Yu.M.* Tekhnologiya betona [Concrete technology]. Moscow: ASV, 2003. 500 p. (rus)
5. *Valeev R.Sh., Shaikhiyev I.G.* Utilizatsiya shlamovykh otkhodov teploenergeticheskikh tsentralей pri proizvodstve stroitel'nykh materialov [Sludge waste from thermal power plants in building materials production]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2010. No. 2. Pp. 28–29. (rus)
6. *Skripnikova N.K., Kosmachev P.V., Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Semenovyykh M.A.*, Vliyaniye nanorazmernogo poroshka dioksida kremniya na obzhigovyye stroitel'nyye materialy s ispol'zovaniem metallurgicheskikh otkhodov [Fired building materials manufactured by adding silica nanopowder]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2018. V. 20. No. 2. Pp.150–156. (rus)
7. *Panova V.F.* Tekhnogennyye produkty kak syr'e dlya stroiindustrii [Technogenic products as raw materials for construction industry]. Novokuznetsk: SibGIU, 2009. 289 p. (rus)
8. *Kozlova V.K., Karpova Yu.V., Manokha A.M.* Sostav aluminatno-alumoferritnykh faz i ikh produkty gidratatsii v razlichnykh tsementakh i smeshannykh vyazhushchikh. Chast' I. Sostav aluminatov, alumoferritov i ferritov kal'tsiya i ikh produkty gidratatsii v razlichnykh usloviyakh [Composition of aluminate-alumoferrite phases and their hydration products in various cements and mixed binders. Part I. Composition of aluminates, alumoferrites and calcium ferrites and their hydration products under various conditions]. Barnaul, 2008. 302 p. (rus)
9. *Trambovetsky V.P.* Beton v sovremennom stroitel'stve [Concrete in modern construction]. *Tekhnologii betonov*. 2006. No. 2. Pp. 72-74. (rus)
10. *Buravchuk N.I.* Ispol'zovaniye tekhnogennogo syr'ya v tekhnologii betonov [Use of man-made raw materials in technology of concrete]. *Proc. Int. Sci. Conf. 'World Science'*. Kirov, 2016. Pp. 34–45. (rus)

Сведения об авторах

Скрипникова Нелли Карповна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, nks2003@mail.ru

Шеховцов Валентин Валерьевич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, shehovcov2010@yandex.ru

Григоревская Дарья Константиновна, студентка, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, rebeccali@mail.ru

Семеновых Марк Андреевич, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, semenovykhmark@gmail.com

Юрьев Иван Юрьевич, канд. техн. наук, начальник управления научной деятельностью, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, yiywork@mail.ru

Authors Details

Nelli K. Skripnikova, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, nks2003@mail.ru

Valentin V. Shekhovtsov, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, shehovcov2010@yandex.ru

Daria K. Grigorevskaya, Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, rebeccali@mail.ru

Mark A. Semenovyykh, Undergraduate, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, semenovykhmark@gmail.com

Ivan Yu. Yur'ev, PhD, Head of Research Department, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; yiywork@mail.ru