

УДК 691.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА
ДЛЯ ШАХТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**THE RESEARCH IN THE USE OF MONOLITHIC CONCRETE
FOR THE MINE CONSTRUCTION**

Гилязидинова Наталья Владимировна,
кандидат техн. наук, доцент, e-mail: spien2009@rambler.ru

Gilyazidinova Natalia V., C. Sc., Associate Professor

Рудковская Надежда Юрьевна,
кандидат техн. наук, доцент, e-mail: spien2009@rambler.ru

Rudkovskaya Nadezhda Y., C. Sc., Associate Professor

Санталова Татьяна Николаевна,
кандидат техн. наук, доцент, e-mail: spien2009@rambler.ru

Santalova Tatiana N., C. Sc., Associate Professor

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Весенняя 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

Аннотация. Целью работы являются исследования применения бетона на шлаковых заполнителях для возведения монолитной бетонной крепи шахтных выработок. В угольной промышленности для добычи 1000 т угля проводится в среднем 10-15 м подготовительных выработок. При сооружении вертикальных стволов в Кузбассе монолитный бетон составляет 97-98% от общего расхода материалов, а 50% от стоимости сооружения стволов составляют затраты на крепь, которые впрямую зависят от расхода и стоимости материалов. Если учесть объем добываемого ежегодно угля на шахтах Кузбасса, то становится очевидным, что расход цемента в отрасли достигает нескольких миллионов тонн, а заполнителей около десятка миллионов кубометров. Установлено, что 25-30% выработок, закрепленных бетоном, ежегодно перекрепляются. Это связано с тем, что происходит разрушение бетона под действием неблагоприятных условий эксплуатации, в первую очередь деструктивным действием шахтных вод. Поэтому проблема разработки бетона, способного противостоять этим явлениям, представляется достаточно актуальной.

Abstract. The aim of the work is to study the use of slag aggregate concrete for the construction of monolithic concrete lining of mine workings. In the coal industry, the average of 10-15 m of development workings are constructed to extract 1,000 tons of coal. The monolithic concrete is 97-98% of the total material consumption for the construction of vertical shafts in Kuzbass; and the lining costs being 50% of the total cost of shaft construction, which are directly dependent on the material consumption and cost. Considering the amount of annually produced coal in Kuzbass mines, it becomes obvious that the cement consumption in the industry amounts to several million tons, the consumption of the aggregates is about ten million cubic meters. It was found that 25-30% of concrete-lined mine workings are re-lined annually. This is due to the concrete destruction under the influence of unfavorable operating conditions, especially the destructive action of mine water. Therefore, the problem of production of concrete capable to withstand these phenomena seems quite relevant.

Ключевые слова: бетон; шахтное строительство; прочность; шлаковые заполнители; тонкомолотые добавки.

Keywords: concrete; mine construction; strength; slag aggregates; floured admixtures.

Введение

В настоящее время в шахтном строительстве в основном применяется тяжелый бетон на природных мелких и крупных заполнителях. Актуальность данной работы также заключается и в том, что в Кузбасском регионе сложился дефицит качественных природных материалов для приготовления тяжелых бетонов, в связи с чем, наблюдается тенденция регулярного повышения цен. В то же время, на отвалах предприятий металлургической и энергетической промышленности Кузбасса, скопилось большое количество, ежегодно пополняемых отходов производства – металлургических и топливных шлаков, которые могут быть использованы как заполнители для бетона. Металлургические отвальные и гранулированные топливные шлаки являются для Кузбасса местными материалами, обладающими рядом достоинств, и поэтому представляет интерес их совместное использование для получения эффективных бетонов, отвечающих требованиям шахтного строительства. Идея данной работы состоит в реализации активных

шлаков, которые могут быть использованы как заполнители для бетона. Металлургические отвальные и гранулированные топливные шлаки являются для Кузбасса местными материалами, обладающими рядом достоинств, и поэтому представляет интерес их совместное использование для получения эффективных бетонов, отвечающих требованиям шахтного строительства. Идея данной работы состоит в реализации активных

свойств шлаков, обладающих скрытой гидравлической активностью, которая специальными технологическими приемами может быть использована для создания цементных бетонов, способных противостоять неблагоприятным условиям эксплуатации шахтных конструкций [1- 4].

Целью данной работы являются исследования применения бетона на шлаковых заполнителях для шахтного строительства, обеспечивающего снижение стоимости и повышение долговечности конструкций. Ее научная новизна заключается в обосновании возможности совместного использования доменных и топливных шлаков для бетонов шахтного строительства и в определении влияния состава шлакобетона на изменение физико-механических характеристик.

Практическая значимость работы состоит в том, что ее результаты позволят на сравнительно дешевых отходах металлургической и топливной промышленности получить бетон, отличающийся высокой прочностью, водонепроницаемостью и стойкостью к агрессии, что увеличит долговечность и снизит стоимость шахтных конструкций.

Материалы и методы

В процессе выполнения научно-исследовательской работы решались задачи по определению физико-механических свойств шлаковых заполнителей и зависимости прочности шлакобетона от основных технологических факторов.

Золошлаковые смеси теплоэлектростанций Кузбасса имеют сравнительно однородный химический состав, модуль крупности от 2 до 3,5, они стойки против железистого и силикатного распада, содержат до 1% несгоревших частиц, до 6% CaO и не имеют ограничений по радиационному фактору.

Отвальный доменный шлак поставляется в виде щебня размером 0-150 мм, насыпной плотно-

стью 1400-1550 кг/м³. Данный шлаковый щебень не соответствует требованиям норм по зерновому составу и поэтому предусмотрено его дробление и сортировка.

Отсев от дробления отвального шлака покрывает до 30% потребности в мелком заполнителе. Для восполнения недостатка и оптимизации зернового состава, использовались золошлаковые смеси, а для сравнения – речной песок. Результаты исследований показали, что максимальная прочность бетона на отвальном доменном шлаке достигается при содержании в мелком заполнителе 50-70% золошлаковых смесей (рис. 1).

В соответствии со строительными нормами рекомендуется применять в бетоне только кислые шлаки, модуль основности которых меньше единицы [5]. Кузбасские шлаки содержат в своем составе от 37 до 39% CaO , их модуль основности 0,89, то есть они относятся к кислым и могут использоваться как заполнители для бетона, модуль гидравлической активности которых колеблется от 0,34 до 0,4. По способности в тонкоизмельченном состоянии подобно цементу взаимодействовать с водой, металлургические шлаки относятся к малоактивным, и их твердение обеспечивается только в присутствии цементного клинкера. Данные шлаки по химическому составу приближаются к портландцементу, но при этом они содержат повышенное количество кремнезема, глинозема и меньше оксида кальция. Шлаковые заполнители не инертны, в контактной зоне реагируют с родственными им цементами – это приводит к росту однородности и улучшению структуры бетона.

Известно, что большая часть монолитного бетона, используемого в строительстве шахтных сооружений, укладывается и твердеет при пониженных температурах. Нормальные условия твердения бетона: температура +15-+20°C при относительной влажности 90-100%. Со снижением температуры выдерживания прочность бетона нарастает медленнее. Поэтому представляют интерес изучение сравнительного изменения прочности бетона на шлаковом щебне при различной температуре твердения, в частности при +5°C, характерной для шахтного строительства. С этой целью были поставлены опыты, при которых образцы-кубы, изготовленные из бетона на шлаковых заполнителях различного состава с добавками $LSTM$ и $LSTM+CaCl_2$, а также контрольные образцы из обычного тяжелого бетона, частично помещались в холодильную камеру и выдерживались в ней при температуре +5°C, а частично твердели в нормальных условиях при температуре +18°C, а также при термовлажностной обработке.

Установлено, что прочность бетона на смеси металлургических и топливных шлаков после пропаривания с достаточной степенью точности может быть принята равной 80% от проектной. Марочная прочность устанавливается в возрасте

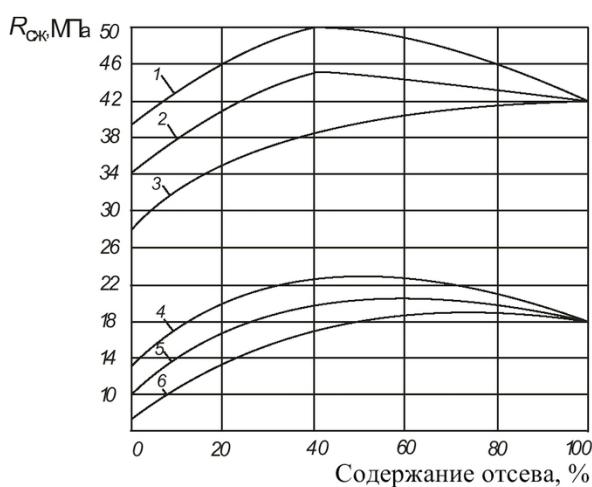


Рис. 1. Зависимость прочности шлакобетона от состава мелкого заполнителя

1, 2, 3 – при расходе цемента 495 кг/м³, введении отсева и соответственно золошлаковой смеси, граншлака, песка; 4, 5, 6 – тоже при расходе цемента 270 кг/м³

28 суток после пропаривания или 45 суток нормального твердения.

Наиболее активно процесс нарастания прочности бетона на шлаковых заполнителях в нормальных условиях протекает в первые 5-7 суток. В эти сроки предел прочности шлакобетона на 5-10% выше аналогичных показателей обычного тяжелого бетона. В дальнейшем прирост прочности замедляется и в возрасте 28 суток составляет 92,5% от прочности пропаренного бетона.

Введение в состав бетона 2% $CaCl_2$, по данным нормативной литературы, обеспечивает нарастание прочности бетона при пониженных температурах до 75% от проектной прочности бетона, твердеющего в нормальных условиях. Фактическое нарастание прочности составило, по экспериментальным данным, для тяжелого бетона 75-87%, а для бетона на шлаковых заполнителях – 92-133%. Из вышесказанного видно, что шлаковые бетоны более эффективно использовать при пониженных температурах, чем известные виды бетона на природных материалах.

В ходе выполнения данной работы были проведены также исследования физико-механических характеристик бетона на шлаковых заполнителях. Зависимость прочности шлакобетона при сжатии от расхода цемента и состава мелкого заполнителя определялась на бетонной смеси подвижностью 2-4 см осадки стандартного конуса и подвижностью 5-9 см [6]. Результаты представлены на рис. 2.

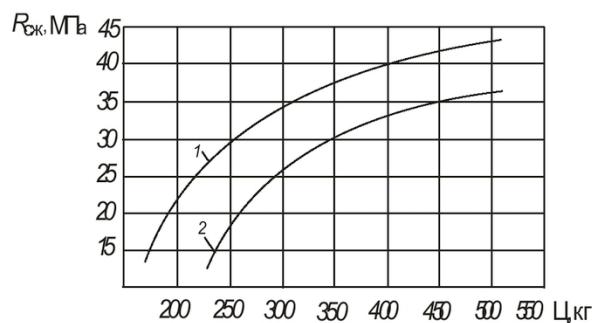


Рис. 2. Зависимость прочности шлакобетона от расхода цемента

1 – для бетонной смеси подвижностью 2-4 см; 2 – для бетонной смеси подвижностью 5-9 см

Прочность исследуемого бетона, в зависимости от расхода цемента и водоцементного фактора, при оптимальном зерновом составе заполнителя составляет от 10 до 45 МПа, что позволяет использовать его в шахтном строительстве.

Экспериментально доказано, что прочность шлакобетона при изгибе составляет 0,06-0,108, а при растяжении 0,045-0,063 от прочности при сжатии, что позволяет выполнять расчет конструкций по известным методикам. Так же в ходе проведенных исследований было установлено, что

коэффициент стойкости шлакобетона при действии на него сульфатных сред составляет 0,92-1,4, а при действии слабокислых – 1,2-1,26, при нормируемом – 0,8. Следовательно, предлагаемый бетон может работать в условиях сульфатной и слабокислой агрессии [7-14].

В процессе выполнения опытов по определению прочности бетона на шлаковом щебне встал вопрос о возможности сокращения сроков твердения. Одним из возможных решений этого вопроса, представляется активация заполнителей бетона.

На данный момент существует множество методов активации дисперсных минеральных заполнителей, ускоряющих твердение: механический (повышение удельной поверхности цемента и др.), химический (введение добавок, ускоряющих твердение) и физико-механический. Нами был опробован способ оптимизации состава монолитного бетона путем введения тонкомолотых добавок.

Тонкомолотые добавки получаются помолом крупного заполнителя (шлакового щебня), при котором происходит оголение новых поверхностей и в итоге идет увеличение поверхностной энергии, а тем самым улучшение прочностных свойств бетона, его удобоукладываемости и подвижности. Эффективное использование тонкомолотых добавок возможно в некоторых случаях:

- если по условию прочности можно допустить наибольшее водоцементное отношение, чем необходимо по требованию долговечности бетона;
- если прочность бетона можно обеспечить при наименьшем расходе цемента, чем необходимо по условию плотности.

Сегодня приготовление тонкомолотых добавок для бетона стало возможным с использованием инновационного метода измельчения на мельнице нового типа [15].

Но возникает вопрос о том, какого процента тонкомолотой добавки будет достаточно для быстрого набора прочности? Ведь при перенасыщении бетона добавкой, может произойти снижение абсолютной прочности. Для ответа на данный вопрос нами были проведены испытания по определению оптимального процента тонкомолотой добавки. А также были выполнены сравнения значений прочности бетона с добавкой и без добавки.

Для проведения испытаний были изготовлены образцы-кубы 15×15×15 см, каждый с различным процентным содержанием тонкомолотой добавки (5, 10, 15, 25, 30%). Результаты испытаний представлены на рис. 3, где видно, что оптимальный процент содержания тонкомолотой добавки составляет примерно 15% при абсолютной прочности в 58 МПа, которая выше, чем у бетона без добавки. Результаты сравнения прочности на всем сроке твердения бетона с добавкой и без добавки представлены на рис. 4.

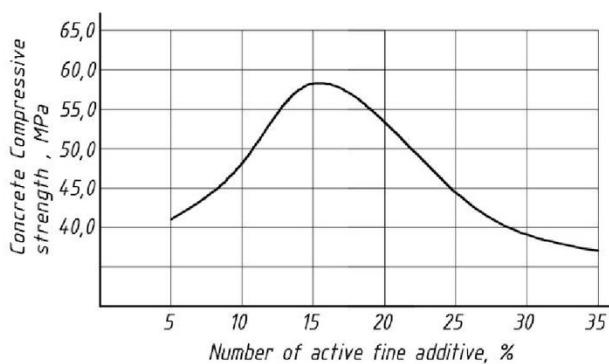


Рис. 3. Зависимость прочности бетона от количества введенной тонкомолотой добавки

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что бетон с добавлением тонкомолотой добавки на ранних сроках твердения набирает большую прочность, чем бетон без подобной добавки. Кроме быстрого набора прочности, применение тонкомолотой добавки позволяет уменьшить расход цемента, по сравнению с требуемым расходом из условия прочности.

Результаты

Опираясь на полученные результаты, были определены зависимости прочности шлакобетона от состава мелкого заполнителя, расхода и вида цемента, водоцементного отношения, наличия химических добавок.

На основе чего были разработаны следующие технологические решения:

- оптимальное содержание мелкого заполнителя должно составлять 0,32-0,62 от общего расхода заполнителя;
- доля золошлаковой смеси в мелком заполнителе – 50-70%;
- для приготовления шлакобетона эффективно использование шлакопортландцемента. При этом для получения равнопрочного бетона его марка может быть снижена на порядок по сравнению с

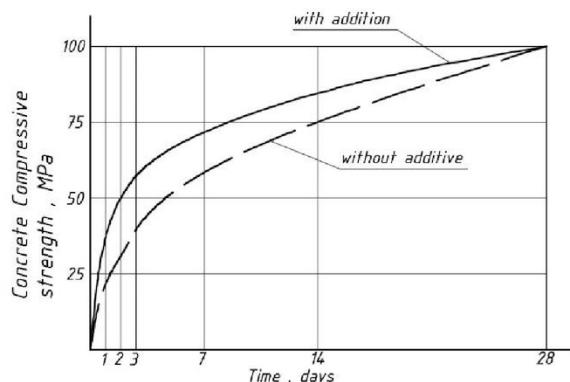


Рис. 4. Динамика набора прочности бетона с тонкомолотой добавкой

портландцементом;

– применение суперпластификатора ЛСТМ позволяет снизить расход вяжущего на 10-20% или увеличить подвижность бетонной смеси в 2-3 раза без снижения физико-механических характеристик бетона;

– замена 15% мелкого заполнителя тонкомолотой добавкой, полученной путем помола шлакового щебня, сокращает сроки твердения бетона.

Заключение

Ожидаемый экономический эффект от использования бетонов с отходами металлургической и энергетической промышленности Кузбасса заключается в снижении стоимости продукции за счет применения более дешевых материалов, а внедрение результатов исследований позволит существенно уменьшить отрицательное техногенное воздействие на окружающую среду за счет утилизации отходов и высвобождения земель для более эффективного их использования.

Результаты работы рекомендованы для использования при получении монолитного бетона, отвечающего требованиям шахтного строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности / Л. И. Дворкин. – Ростов н/Д : Феникс, 2007.
2. Баженов, Ю. М. Технология бетона / Ю. М. Баженов. – Москва : АСВ, 2003.
3. Бетоны. Материалы. Технологии. Оборудование. – Москва : Стройинформ; Ростов н/Д: Феникс, 2006.
4. Чумаков, Л. Д. Технология заполнителей бетона (практикум): учеб. пособие для студентов вузов / Л. Д. Чумаков. – Москва : АСВ, 2006.
5. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции.
6. СНиП 82-02-95. Федеральные (типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций.
7. Гилязидинова Н. В. и Н. О. Таберт, М. И. Лейб. Пути повышения прочности бетона. Сборник научных трудов SWorId. Украина, 2014. – 78-80 с. Номер стр
8. Гилязидинова, Н. В. и А. Н. Ильин. Use the slag concrete in building underground structures and mines. Modern scientific research and their practical application, Украина, 2014. – 49-54 с. Номер стр
9. Углиница, А. В. и Т. В. Хмеленко, К. Д. Солонин. Slag-alkaline concrete -efficient building material International journal of applied engineering research. – Research India Publications, Volume 9, Number 22, 2014, pp. 16837-16842.

10. Угляница, А. В. и Н. В. Гилязидинова, Н. Ю. Рудковская, Т. Н. Санталова. Analysis of compositions of ceramsite ash-slag-concrete for monolithic building construction. – Research India Publications, Volume 10, Number 8, 2015, pp. 19235-19246.
11. Alessandra Gianoncelli, Annalisa Zacco, Rudolf P. W. J. Struis, Laura Borgese, Laura E. Depero, Elza Bontempi. Fly Ash Pollutants, Treatment and Recycling. Pollutant Diseases, Remediation and Recycling. Environmental Chemistry for a Sustainable World Volume 4, 2013, pp. 103-213.
12. Угляница, А. В. и Н. В. Гилязидинова, А. А. Жихарев, А. А. Каргин. Study of reinforcement corrosion in expanded clay concrete. HRBS Journal, Volume 10, Issue 1. Cairo, Egyp, 2014, pp. 1687-1690.
13. J. Alexandre Bogas, Rita Nogueira. Tensile strength of structural expanded clay lightweight concrete subjected to different curing conditions. KSCE Journal of Civil Engineering. September 2014, Volume 18, Issue 6, pp. 1780-1791.
14. Угляница, А. В. и К. Д. Солонин. Разработка технологии закладки ликвидируемых вертикальных выработок крупногабаритными автоклавными шлакоблоками. Вестник КузГТУ №1 (113), 2016. – 44-50 с.
15. Патент на изобретение #2346745 от 20.02.2009. Центробежная мельница. Россия. МПК B02C017/08.

REFERENCES

1. Dvorkin L. I. Industrial waste construction materials. Rostov-on-Don. Fenix. 2007.
2. Bazhenov Y. M. Concrete technology. Moscow : ACB, 2003.
3. Concrete. Materials. Technologies. Equipment. – Moscow : Stroyinform; Rostov-on-Don : Fenix, 2006.
4. Chumakov L. D. Cement aggregate technology (hands-on workshop): manual for graduate students. Moscow : ACB, 2006.
5. Building Code 52-01-2003. Cement and reinforced concrete structures.
6. Building Code 82-02-95. Federal (standard) specifications for the cement consumption for the production of cement and reinforced concrete construction and structures.
7. Gilyazidinova, N. V. and N. O. Tabert, M. I. Leib. Methods for the concrete development increase. SWorld proceedings. Ukraine, 2014. – pp. 78-80.
8. Gilyazidinova, N. V. and A. N. Ilyin. Use the slag concrete in building underground structures and mines. Modern scientific research and their practical application, Ukraine, 2014. – pp. 49-54.
9. Uglyanitsa, A. V. and T.V. Khmelenko, K. D. Solonin. Slag-alkaline concrete - efficient building material. International journal of applied engineering research. – Research India Publications, Volume 9, Number 22, 2014, pp. 16837-16842.
10. Uglyanitsa, A. V., Gilyazidinova N. V., Rudkovskaya N. Y., Santalova T. N.. Analysis of compositions of ceramsite ash-slag-concrete for monolithic building construction. – Research India Publications, Volume 10, Number 8, 2015, pp. 19235-19246.
11. Alessandra Gianoncelli, Annalisa Zacco, Rudolf P. W. J. Struis, Laura Borgese, Laura E. Depero, Elza Bontempi. Fly Ash Pollutants, Treatment and Recycling. Pollutant Diseases, Remediation and Recycling. Environmental Chemistry for a Sustainable World Volume 4, 2013, pp. 103-213.
12. Uglyanitsa, A. V., Gilyazidinova N. V., Zhikharev A.A., Kargin A.A.. Study of reinforcement corrosion in expanded clay concrete. HRBS Journal, Volume 10, Issue 1. Cairo, Egyp, 2014, pp. 1687-1690.
13. J. Alexandre Bogas, Rita Nogueira. Tensile strength of structural expanded clay lightweight concrete subjected to different curing conditions. KSCE Journal of Civil Engineering. September 2014, Volume 18, Issue 6, pp. 1780-1791.
14. Uglyanitsa A. V. and Solonin K. D. Development of technology of backfill of the liquidated mine workings by the large size autoclave stones. Bulletin of KuzSTU №1 (113), 2016. pp. 44-50.
15. Kondratev A. A. Invention patent #2346745 от 20.02.2009. Ball-bearing pulverizer. Russia. International Patent Classification B02C017/08

Поступило в редакцию 25.11.2016
Received 25.11.2016