

DOI: 10.12737/22641

Лесовик Р.В., д-р техн. наук, проф.,
Агеева М.С., канд. техн. наук, доц.,
Богусевич Г.Г., канд. техн. наук, доц.,
Сопин Д.М. канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ*

ageevams@yandex.ru

В статье приведены результаты подбора составов закладочных смесей на основе техногенного сырья региона КМА, установлены микроструктурные особенности разработанных композитов, показана активизирующая роль в процессах гидратации доменного гранулированного шлака и отходов обогащения.

Ключевые слова: закладочные смеси, доменный гранулированный шлак, отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов.

Введение. Опыт отечественных и зарубежных горно-добывающих предприятий показывает, что проблемы рационального освоения недр, управления горным давлением, повышения полноты и качества извлечения полезных ископаемых, обеспечения безопасности горного производства наиболее полно решаются путем применения систем разработки с закладкой выработанного пространства [1–6].

Использованию систем с твердеющей закладкой в первую очередь способствовали следующие факторы:

- вовлечение в эксплуатацию месторождений со сложными горно-геологическими условиями, безопасная разработка которых возможна лишь при заполнении очистного пространства искусственными материалами, способными противостоять развивающемуся горному давлению;
- повышение требований перерабатывающих отраслей промышленности к качеству минерального сырья;
- требования полноты использования недр, отработки месторождений полезных ископаемых с минимальными потерями;
- положительный опыт горнорудной промышленности в использовании твердеющих смесей, приготовленных на основе местных вяжущих материалов (цементы, различного рода шлаки, зола ТЭЦ, ангидриты, сульфидные хвосты обогатительных фабрик, цементная пыль и др.) [6].

При этом использование в составе закладочных смесей техногенного сырья позволяет решать важные проблемы по снижению вредного влияния последних на окружающую среду. Их использование крайне целесообразно и экономической точки зрения [7–11].

Методология. Основные экспериментальные исследования проводились в Центре высоких технологий, испытательном центре «БГТУ -

сервис», в лабораториях кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций БГТУ им. В.Г. Шухова.

Для получения микрофотографий поверхности, размера зерен, микроструктуры затвердевших вяжущих был использован сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU.

Изготовление образцов проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 27006 «Бетоны. Правила подбора составов». Материалы применялись в сухом состоянии, твердение образцов происходило в естественных условиях, в камере нормального твердения при температуре 20 °С и относительной влажности 90 %. Испытания образцов на прочность проводили в соответствии с методикой ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Основная часть. Системы разработки с закладкой выработанного пространства широко используются в мировой практике добычи подземных ископаемых. Их применение возможно практически в любых геологических и горно-технических условиях: в рудах и вмещающих породах любой крепости и устойчивости, при различных мощностях рудных тел и углах падения, при различной морфологии рудных тел с включением или без включения пустых пород.

Объективные преимущества систем разработки с закладкой: эффективное управление горным давлением; высокое (до 95–96 %) извлечение руды из недр; надежное поддержание и сохранение поверхности от обрушения; повышение безопасности отработки месторождений; возможность утилизации отходов горно-обогатительного производства. Эффективность отработки месторождений системами с закладкой зависит от ценности руды, уровня ее извлечения, производительности рудников, стоимости закладки. Снижение стоимости закладки, явля-

ющей составной частью себестоимости руды, является актуальным для всех подземных рудников.

Поэтому в работе были разработаны составы закладочных смесей на основе техногенного сырья региона Курской магнитной аномалии. Для получения закладочных смесей были использованы следующие материалы: портландцемент ЦЕМ I 32,5Н ГОСТ 31108–2003 ЗАО «Бел-

городский цемент», доменный гранулированный шлак «НМЛК», щебень шлаковый 5–20 мм, песок шлаковый (Мк 1,6) и отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов с Мк=0,6 (Отходы ММС).

Доменный гранулированный шлак, песок шлаковый размалывали до удельной поверхности 300 м²/кг в вибрационной лабораторной мельнице. Подвижность смеси, ОК>14 см (табл.1).

Таблица 1

Зависимость прочности закладочной смеси от вида вяжущего

№ состава	Расход компонентов, кг/м ³						Плотность образца, ρ, кг/м ³	Прочность при сжатии, R, МПа в возрасте, суток		
	Шлак	ММС	Щебень шлаковый	Песок шлаковый	Цемент	Вода		7	28	90
1	254	1140	208	–	103	376	2030	1,7	6,8	10,2
2	595	1600	–	–	–	520	2010	0,5	2,8	3,9
3	369	1558	–	–	119	470	1880	0,8	3,6	5,2
4	–	1133	206	252	102	389	1960	0,4	2,2	4,5
5	–	1288	–	309	103	391	1930	0,4	2,1	4,1

В результате выполненных исследований установлено, что все разработанные составы соответствуют требованиям, предъявляемым к материалам для закладочных работ. Наибольшую прочность показал состав 1 на основе всех компонентов, без использования песка; наименьшую состав 5-без использования шлака и щебня.

Поскольку дисперсность компонентов за исключением щебня соизмерима с размерами

зерен цемента, наблюдается пластифицирующий эффект. Образование гидросиликатов кальция обеспечивает повышение плотности и прочности цементного камня и, соответственно, бетона и раствора за счет вовлечения тонкомолотой активной части добавок в формирующуюся структуру цементного камня.

Изучение микроструктуры образцов показало, что шлаковый наполнитель имеет хорошую адгезию с цементным камнем (рис. 1).

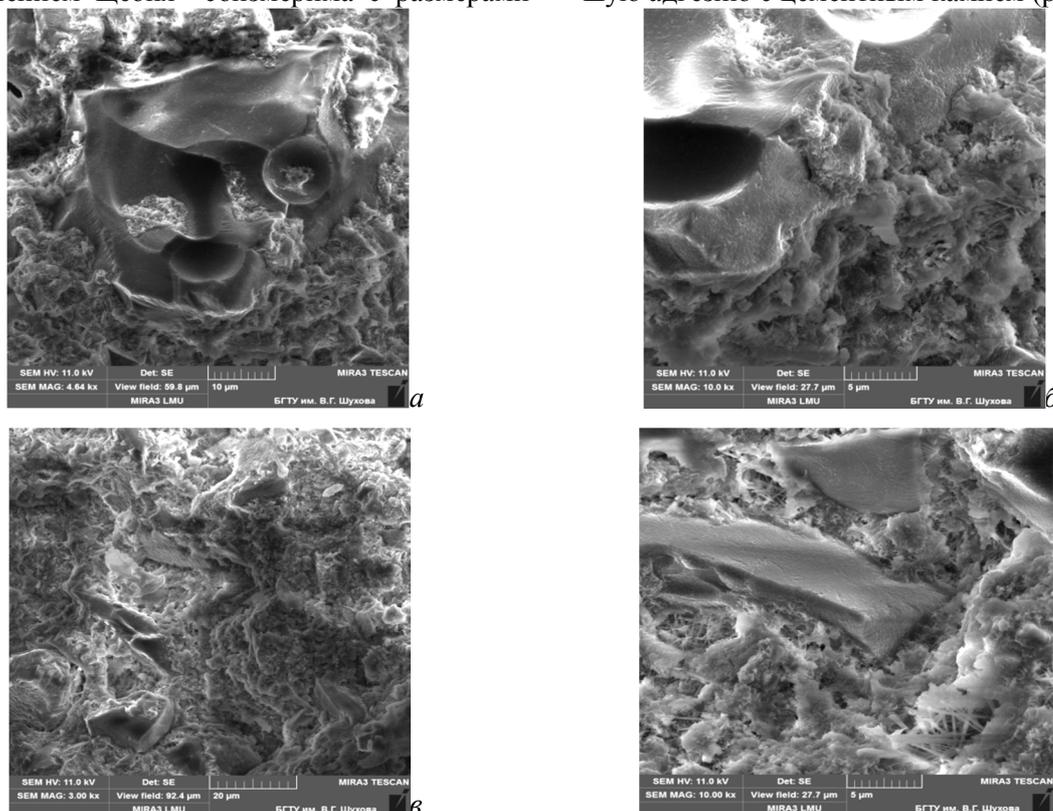


Рис. 1. Микроструктура образцов: а, б – состав 1, в, д – состав 5

Микроструктура затвердевшего композита характеризуется более низким содержанием кристаллического портландита, который частично связан шлаковыми зернами и более плотной гидросиликатной структурой. Поэтому при введении тонкомолотого доменного гранулированного шлака интенсифицируется реакция взаимодействия поверхностей наполнителя с гидроксидом кальция при этом на контактном слое вяжущего и заполнителя образуются слои гидросиликатов кальция, обеспечивающие их срастание друг с другом. Все частички шлака обильно покрыты новообразованиями. Вместе с этим мелкодисперсные частицы могут выступать подложками и центрами кристаллизации, ускоряя процессы гидратации и твердения композита.

При этом халцедоновидная регионально метаморфизованная, а также частично динамометаморфическая генерация кварца отходов ММС железистых кварцитов интенсивно связывают гидроксид кальция в мелкокристаллические нерастворимые гидросиликаты кальция, а контактово-метаморфическая генерация и более крупные частицы шлака выступают подложками и центрами кристаллизации, что в целом способствует уменьшению количества дефектов, снижению кристаллизационного давления и оптимизации структуры материала.

Выводы. Таким образом, разработаны составы закладочных смесей с оптимальным соотношением доменного шлака и отходов ММС железистых кварцитов, позволяющие снизить расход клинкерной составляющей при обеспечении допустимой для производства закладочных смесей активности вяжущего.

**Статья подготовлена в рамках выполнения научного проекта РФФИ №14-41-08006 «Разработка методологии проектирования мелкозернистых фибро-текстиль бетонов на техногенных песках Белгородской области».*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик Р.В. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2009
2. Лесовик Р.В., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И. Комплексное использование отходов алмазобогащения // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 30–31.
3. Монтянова А.Н. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне. М.: Горная книга, 2005. 597 с.
4. Houlsby A.C. Construction and Design of Cement Grouting: A Guide to Grouting in Rock Foundations (Wiley Series of Practical Construction Guides Paperback) // Wiley-Interscience. Desember 3. 2008. 466 p.
5. Ageeva M. S., Sopin D. M., Lesovik G. A., Metrohin A. A., Kalashnikov N. V., Bogusevich V. A. The modified composite slag-cement binder // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. T. 9. № 8. С. 1381–1385.
6. Alfimova N.I., Shadskiy E.E., Lesovik R.V., Ageeva M.S. Organic-mineral modifier on the basis of volcanogenic-sedimentary rocks // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2015. T. 10. № 24. С. 45131–45136.
7. Соловьева Л.Н., Чантурия Ю.В., Ткебучава П.Д. Оптимизация состава композиционного вяжущего с использованием метода математического планирования эксперимента / «Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона»: Сборник научных трудов по материалам II Всероссийской научно-практической конференции – Саратов: Изд-во СГТУ, 2012. С. 51–55.
8. Богусевич В.А., Лесовик Р.В., Ильинская Г.Г. К вопросу об использовании техногенного сырья КМА для бетонных работ при отрицательных температурах // В сборнике: Научные и инженерные проблемы строительнотехнологической утилизации техногенных отходов Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2014. С. 67–71.
9. Lessowik W.S., Sagorodnjuk L.H., Ilinskaya G.G., Kuprina A.A. Das gesetz uber die verwandtschaft von strukturen als theoretische grundlage fur die projektierung von trockenmischungen // 19-te INTERNATIONALE BAUSTOFFTAGUNG IBAUSIL 2015. 2015. С. 1465–1470.
10. Сулейманова Л.А., Семенов П.Е. Высококачественное композиционное вяжущее с применением техногенного сырья // Актуальные вопросы и строительство: мат-лы V Всероссийской науч.-практ. конф., 2012. Т.1. С. 266–270.
11. Ильинская Г.Г., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Коломацкий А.С. Сухие смеси для отделочных работ на композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 15–19.

Lesovik R.V., Ageeva M.S., Bogusevich G.G. Sopin D.M.

THE DEVELOPMENT OF COMPOSITIONS OF BACKFILLING MIXTURES

The results of the selection of compositions of stowing mixes on the basis of technogenic raw materials KMA region, set mikrostrukturnye particularly developed composites, illustrates the activation process Rolv hydration of granulated blast slag and tailings.

Key words: *filling mixture, granulated blast furnace slag, waste of wet magnetic separation of ferruginous quartzite.*

Лесовик Руслан Валерьевич, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Агеева Марина Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Богусевич Галина Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сопин Михаил Дмитриевич, кандидат технических наук.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: beton138@mail.ru