

Библиографический список

1. Закладочные работы в шахтах: Справочник / Под ред. Бронникова Д.М., Цыгалова М.Н. М.: Недра, 1989. 400 с.
2. Цыгалов М.Н., Зурков П.Э. Разработка месторождений полезных ископаемых с монолитной закладкой. М.: Недра, 1970. 200 с.
3. Материалы для искусственных целиков и технология их возведения / Репп К.Ю., Вахрушев Л.К., Студзинский С.А. и др. М.: Недра, 1968. 191 с.
4. Цыгалов М.Н. Подземная разработка с высокой полнотой извлечения руд. М.: Недра, 1985. 272 с.
5. Репп К.Ю. Материалы для искусственных целиков и технология их возведения. М.: Недра, 1968. 72 с.
6. Хомяков В.И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. М.: Недра, 1984. 224 с.
7. Основы технологии подземной разработки рудных месторождений с закладкой / Бронников Д.М., Замесов Н.Ф., Кириченко Г.С. и др. М.: Недра, 1973. 292 с.
8. Бронников Д.М., Замесов Н.Ф., Богданов Г.И. Разработка руд на больших глубинах. М.: Недра, 1982. 292 с.
9. Гулий В.М., Милкин А.В., Джансугуров С.И. Опыт борьбы с подземными эндогенными пожарами и внедрение камерной системы разработки с твердеющей закладкой на Текелийском руднике. М.: ЦИИИцветмет, 1967. 209 с.
10. Вяткин А.П., Горбачев В.Г., Рубцов В.А. Твердеющая закладка на рудниках. М.: Недра, 1983. 168 с.
11. Рекомендации по использованию хвостов обогащения Учалинской фабрики для закладочных работ: Отчет по НИР/ Унипромедь. Тема 95-20. Екатеринбург, 1995. 54 с.
12. Lowson R. Aqueous oxidation of pyrite by molecular oxygen // Chem. rev. 1982. V. 82. № 5. P. 461–497.
13. Термический анализ минералов и горных пород. Л.: Недра, 1974. 399 с.
14. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1981. 335 с.

УДК 691

И.С. Трубкин, А.А. Зубков

ЗАКЛАДОЧНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНВЕРТЕРНЫХ ШЛАКОВ ММК И ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-СЕРНЫХ РУД

В связи с высокими требованиями к полноте использования и охране недр способ разработки месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями является наиболее совершенным, тем более, что материалами для их приготовления могут служить как попутные породы, так и отходы промышленности. Наибольший интерес для приготовления твердеющей закладки вызывают металлургические и, в частности, конвертерные, шлаки.

Выход конвертерных шлаков ММК превышает 1 млн т в год. Основная экономическая целесообразность переработки сталеплавильных шлаков заключается в извлечении металла, содержание

которого достигает 10–15%. Наиболее полное извлечение металла, до 95%, достигается после измельчения шлака. Однако решение проблемы наиболее полного извлечения металла приводит к необходимости утилизации дисперсной минеральной части шлака. Реальной областью многогранного применения металлургических шлаков в качестве вяжущего являются бетоны для закладки выработанного пространства шахт. Практически все существующие закладочные комплексы испытывают дефицит материалов и особенно вяжущих. Ближайшие горнодобывающие предприятия, использующие твердеющие закладочные смеси, находятся в радиусе 100–130 км от г. Магнитогорска. Применение конвертерных шлаков в определен-

Таблица 1

Химический состав материалов

Материал	Массовая доля компонентов, %												
	Fe _{об}	Fe _м	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	P	S	Cr
Конвертерный шлак текущего производства	24,0–27,0	2,2–8,8	8,3–25,1	9,1–16,0	7,1–18,5	37,4–48,3	5,6–9,3	1,6–3,0	1,3–5,8	1,0–1,2	0,38–0,52	0,05–0,14	0,36–0,40
Хвосты обогащения	33,7	–	–	–	12,2	0,9	0,04	4,9	–	–	–	35,5	–

ной мере снизит дефицит вяжущих для приготовления закладочных смесей.

Кроме вяжущего для изготовления закладочных смесей необходимы заполнители. Исходя их экономической целесообразности, в качестве заполнителей применяют местные вскрышные и пустые породы. Заполнителем для закладочных смесей могут быть применены хвосты обогащения добываемых руд, что одновременно решает проблему утилизации дисперсных отходов обогащения. Поэтому исследования должны учитывать применимость шлаков к конкретным местным условиям в сочетании с местными материалами.

Для оценки вяжущих свойств конвертерных шлаков, применительно к использованию их в закладочных смесях, были отобраны несколько проб шлака. По месту отбора проб им присвоена маркировка «жидкая яма» – проба 1 и «твердая яма» – проба 2.

Каждую пробу шлака, измельченного до крупности 3 мм, после магнитной сепарации размалывали на центробежно-ударной сепараторной мельнице МЦ-0,36 в лаборатории ЗАО «Урал-Омега» с выделением частиц размером до 80 мкм в количестве 75% (проба 1.1 грубого помола) и размером до 20 мкм в количестве 25% (проба 1.2 тонкого помола).

Для шлака каждой пробы и каждой фракции, полученной после помола в центробежно-ударной мельнице, определяли активность по методике ГОСТ 310.4-81 в возрасте 28 суток. В качестве активизаторов твердения к шлаку добавляли портландцемент марки 500 Магнитогорского цементно-огнеупорного завода (ГОСТ 10178-85) и сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (ГОСТ 3758-75). На основе разработанных составов вяжущих изготавливали закладочные смеси. В качестве заполнителей использовали речной песок и хвосты обогащения Учалинского ГОКа. Свойства используемых материалов приведены в табл. 1 и 2.

Результаты испытаний активности вяжущих, изготовленных по стандартной методике с содержанием шлака от 100 до 85% и добавлением активизаторов, приведены в табл. 3 и 4.

Данные испытаний показывают, что проба 1, размолотая до тонкости цемента (1.1) и более тонкоизмельченная (1.2), имеет низкую прочность. Повышает активность шлака добавка сульфата алюминия. Наибольшее активизирующее действие добавки проявляется на шлаке тонкого измельчения, активность пробы 1.2 возрастает в 10 раз, хотя в целом величина стандартной активности невелика и составляет 3,05 МПа. Смесь проб 1.1 и 1.2 (т.е. в целом проба 1) по прочностным показателям почти в 2 раза превышает показатели отдельных проб, как без активизатора, так и с активизатором.

Таблица 2

Зерновой состав хвостов обогащения сульфидных руд Учалинского ГОКа

Размер сит, мм	0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05	дно
Частный остаток, %	1,04	4,19	5,00	12,14	11,71	26,43	17,28	1,68	20,53

Таблица 3

Активность вяжущего из шлака «жидкая яма»

Состав	Массовая доля компонентов, %					
Шлак, проба 1.1	100		75	100		75
Шлак, проба 1.2		100	25		100	25
Сульфат алюминия				5	5	5
Предел прочности						
При сжатии, МПа	0,36	0,30	0,86	0,50	3,05	1,14
При изгибе, МПа	0,20	0,34	0,45	0,32	1,08	0,70

Таблица 4

Активность вяжущего из шлака «твердая яма»

Состав	Массовая доля компонентов, %					
Шлак, проба 2.1	100	–	75	100	–	75
Шлак, проба 2.2	–	100	25	–	100	25
Сульфат алюминия	–	–	–	4	4	4
ПЦ 500ДО	–	–	–	–		
Предел прочности						
При сжатии, МПа	2,70	0,37	0,49	6,28	5,23	5,53
При изгибе, МПа	1,16	0,80	0,29	1,74	1,12	1,44

Проба 2, размолотая до тонкости цемента (2.1) и более тонкоизмельченная (2.2), значительно различается по прочности из-за резкого возрастания водопотребности пробы 2.2 после переизмельчения. Повышает активность шлака более чем в 2 раза добавка сульфата алюминия. Наибольшее активизирующее действие добавки проявляется на шлаке грубого измельчения, активность пробы 2.1 достигает 6,28 МПа. Смесь проб 2.1 и 2.2 (т.е. в целом проба 2) с применением активизатора занимает по прочностным показателям промежуточное значение и составляет 5,53 МПа.

Таким образом, способ охлаждения шлака влияет на активность вяжущего. Шлак, слитый из ковшей, подвергается более быстрому охлаждению (проба 1) и имеет меньшую гидравлическую активность. Шлак, застывший на стенках ковшей (проба 2), проявляет большую активность. Кроме того, шлак более тонкого помола показывает более низкие величины прочности по сравнению со шлаком грубого помола. Это объясняется резким увеличением водопотребности из-за значительной величины удельной поверхности. Превышение нормированной величины расхода воды для получения требуемой удобоукладываемости смеси снижает величину активности шлака. Данные ре-

Таблица 5

Прочностные показатели закладочных смесей на основе конвертерных шлаков ММК

Состав	Расход, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте 28 суток	
Шлак пробы 2.1 ПЦ 500 Сульфат алюминия Хвосты обогащения Вода	354 62 10,6 1664 416	0,29	
Шлак пробы 2.1 ПЦ 500 Сульфат алюминия Песок Вода	293 52 8,8 1380 345	0,30	
Шлак пробы 1.2 ПЦ 500 Сульфат алюминия Хвосты обогащения Вода	354 62 17,7 1664 416	0,33	
Шлак пробы 1.2 ПЦ 500 Сульфат алюминия Песок Вода	293 52 14,6 1380 345	0,23	

Таблица 6

Прочностные показатели закладочных смесей на основе хвостов обогащения

Состав	Расход, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут.		
		28	60	120
Хвосты текущие ПЦ 400 Вода	1750 170 577	3,97	5,85	5,43

зультаты показывают, что есть целесообразная величина степени измельчения. С другой стороны, система сепарации шлака при помоле на две фракции позволяет использовать их смесь в случае применения в качестве активизатора сульфата алюминия. Мелкая часть шлака значительно увеличивает свою гидравлическую активность при применении активизатора.

На основании проведенных исследований для изготовления закладочных смесей использовали наиболее активные шлаки проб 1.2 и 2.1.

Закладочные смеси изготавливали на вяжущем из шлака с добавлением активизирующих добавок в виде портландцемента и сульфата алюминия при водовязущем отношении, равном 1. В качестве заполнителя использовали хвосты обогащения Учалинского ГОКа и песок с модулем крупности 2,0–2,5.

Предварительные результаты испытаний прочностных свойств закладочных смесей на основе конвертерного шлака показали низкие результаты из-за недостаточной активности шлакового вяжущего при данном водовязущем отношении (табл. 5).

Повышение активности вяжущего из конвертерного шлака возможно введением активных кремнеземсодержащих добавок, необходимых для связывания избытка оксида кальция из шлака в гидросиликаты кальция. Такими добавками являются, в первую очередь, доменные граулированные шлаки, содержащие около 40% кремнезема. Корректировка модуля основности вяжущего из конвертерного шлака добавками доменного гранулированного шлака технически возможна, так как он применяется на многих закладочных комплексах.

Другими кремнеземсодержащими добавками для шлакового вяжущего могут быть маршалиты, трепелы, диатомиты.

Как вариант утилизации отходов обогащения горно-обогатительного производства, можно использовать в качестве активного заполнителя хвосты обогащения. Прочностные показатели закладочных смесей на основе хвостов обогащения приведены в табл. 6. Большая удельная поверхность хвостов обогащения не позволяет связать в монолит всю массу при расходе цемента до 200 кг/м³, чтобы обеспечить прочностные показатели закладочной смеси, приведенные в таблице. Достижение указанных прочностных показателей возможно при активном участии хвостов обогащения в формировании структуры твердеющей закладки. Как было ранее установлено, роль вяжущего в таких бетонах выполняют активизаторы твердения, дисперсные составляющие хвостов и продукты окисления сульфидов. Состав цементно-

го камня при активизации хвостов обогащения цементом и известью, как установлено методами дифференциального термического и рентгенофазового анализа, включает гипс, гидросульфат алюмината или гидросульфат феррита кальция, гидроксид и карбонат кальция, а также продукты процессов диссоциации пирита и новых соединений, образующихся при окислении пирита и взаимодействии вновь образованных соединений и пирита.

Проведенные исследования показывают возможность получения закладочных смесей на хвостах обогащения текущего производства.

Совместное применение металлургических шлаков и хвостов горнодобывающих предприятий в твердеющих смесях для заполнения горных выработок обеспечивает комплексную и эффективную утилизацию отходов.