

УДК 622.257.1(575.2)(04)

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОСНОВНОСТИ НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ШЛАКО-ИЗВЕСТКОВЫХ АВТОКЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.В. Исаенко, М.Б. Борисова

Представлена зависимость коэффициента фильтрации шлако-известковых закладочных материалов от их коэффициента основности.

Ключевые слова: автоклавные материалы; вертикальные горные выработки; закладка; шлак топливных предприятий.

В связи с реструктуризацией угольной промышленности в России было закрыто 188 угольных шахт, в том числе в Кузбассе закрыто 42 шахты и ликвидировано 157 вертикальных стволов. При этом требования нормативных документов [1], обязывающих производить закладку ликвидируемых вертикальных выработок безударочным и водоупорным материалом, не соблюдались – все стволы были либо просто перекрыты изолирующей перемычкой в устьевой части, либо засыпаны горелой породой или глиной.

Такой подход привел к значительному нарушению экологии Кузбасса и даже к гибели людей.

Причиной не соблюдения требований нормативных документов при закладке стволов послужило отсутствие недорогого и эффективного способа закладки вертикальных выработок безударочным и водоупорным материалом. Анализ известных способов закладки выработочного пространства показал, что все они разработаны для закладки горизонтальных и наклонных горных выработок, обладают значительной трудоемкостью и стоимостью, вследствие использования дорогостоящих закладочных материалов и технологических приемов, и для закладки вертикальных выработок не пригодны.

Поэтому разработка технологии закладки вертикальных горных выработок дешевыми местными закладочными материалами на основе отходов топливно-энергетического комплекса весьма актуальна. Были изучены фильтрационные свойства автоклавного материала на основе дешевого вяжущего из шлака топливных предприятий Кузбасса и известны, и возможности его применения для закладки вертикальных горных выработок.

Известно, что на физико-механические свойства автоклавных материалов оказывает влияние содержание различных химических элементов, участвующих в образовании новых соединений.

Анализ химического состава шлаков электростанций Кузбасса показал, что он может существенно отличаться в зависимости от места их получения. Поэтому, при составлении рецептуры смеси нельзя оперировать ее абсолютными весовыми или объемными компонентами. Целесообразно использовать коэффициент основности, который характеризует способность смеси связываться в моносиликат кальция, который рассчитывается по формуле [2]:

$$K_{осн} = \frac{(CaO + 0,93MgO + 0,6R_2O) - (0,55Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3 + 0,7SO_3)}{0,93SiO_2}, \quad (1)$$

где $CaO + 0,93 MgO + 0,6 R_2O$ – общее (валовое) содержание “условной” CaO , %; $(0,55 Al_2O_3 + 0,35 Fe_2O_3 + 0,7 SO_3)$ – количество CaO , связываемой соответствующими окислами и не участвующей в образовании силикатов, %; $0,93 SiO_2$ – количество CaO для связывания SiO_2 в моносиликат кальция, %.

При проведении лабораторных испытаний образцы изготавливали в лабораторном автоклаве АЛ, предназначенном для проведения физико-химических обработок различных веществ и материалов нейтральными, кислыми и щелочными растворами при повышенной температуре и под давлением.

Обработку вели по заданному температурно-му графику. Подъем и спуск температуры регулировали с помощью реостата. Давление контролировали с помощью манометра, установленного на автоклаве.

Для испытания применяли бетонные образцы-цилиндры с $D = 150$ мм и высотой $H = 150$ мм. Отклонения для всех образцов не превышали $\pm 0,5$ мм.

Для испытаний использовали молотый шлак Кемеровской ТЭЦ со следующим химическим составом: $\text{SiO}_2 - 55,80\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 18,10\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 15,00\%$, $\text{CaO} - 3,00\%$, $\text{FeO} - 1,40\%$, $\text{MgO} - 1,30\%$, $\text{SO}_3 - 1,05\%$. Химический состав используемой негашеной извести первого сорта $\text{CaO} - 94,00\%$, $\text{MgO} - 1,99\%$, $\text{SiO}_2 - 1,00\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 1,05\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,07\%$, $\text{SO}_3 - 0,5\%$. Для испытаний использовали водопроводную воду, при этом водовязущее отношение составляло 0,5. Для приготовления образцов шлак и известь перемалывали до крупности частиц менее 0,16 мм. Все компоненты смеси взвешивали на электронных весах с точностью измерения 0,01 г. Количество извести определяли исходя из необходимого коэффициента основности ($K_{\text{осн}}$), рассчитываемого по формуле (1). Для приготовления образцов сухой молотый шлак и известь перемешивали до однородного состояния, после чего в смесь добавляли воду. Полученную смесь перемешивали, заполняли ею форму, помещали в автоклав и производили автоклавную обработку.

Согласно рекомендациям [2] коэффициент основности для автоклавных материалов необходимо принимать равным 0,8–1,2. Для предотвращения фильтрации между водоносными горизонтами закладочный материал для вертикальных горных выработок не должен обладать очень низким коэффициентом фильтрации. Исходя из этого, первоначально принимали смесь с коэффициентом основности, равным 0,8.

Параметры автоклавной обработки принимали следующими: выдержка образцов перед автоклавной обработкой – 4 ч; продолжительность подъема давления водяного пара – 0,75 ч; выдержка образцов при максимальном давлении – 6 ч; продолжительность спуска давления до атмосферного – 5 часов. Эти параметры смеси и ее автоклавной обработки достаточно рациональны и чаще всего рекомендуются.

Каждая серия, с учетом возможной отбраковки, состояла из 10 образцов. Если на поверхности образцов имелись трещины шириной более 0,1 мм, раковины размером более 5 мм или другие дефекты, связанные с плохим уплотнением бетонной смеси, эти образцы испытаниям не подвергали. Если число образцов, признанных негодными, составляло более двух, браковали всю серию.

Образцы испытывали сразу после их охлаждения до комнатной температуры. Зазор между приготовленными к испытаниям образцами и металлическими обоймами заливали расплавленным битумом.

Перед началом испытаний проверяли образцы на надежность герметизации и дефективность путем оценки характера фильтрации инертного газа (воздуха), подаваемого при избыточном давлении 0,1–0,3 МПа к нижнему торцу образца, на верхний торец которого был налит слой воды.

При удовлетворительной герметизации боковой поверхности образцов в обойме и отсутствии в нем дефектов фильтрация газа наблюдалась в виде равномерно распределенных пузырьков, проходящих через слой воды.

При неудовлетворительной герметизации боковой поверхности образцов в обойме или при наличии в них крупных дефектов фильтрация газа наблюдалась в виде обильного местного выделения в дефектных местах.

Дефекты герметизации боковой поверхности устраняли повторной герметизацией образцов. При наличии в образце отдельных крупных фильтрующих каналов образцы заменяли другими. Образцы в обоймах крепили в поворотных гнездах установки и к их торцевой поверхности подавали воду. Установка позволяла собирать профильтровавшуюся воду, не допуская ее испарения. Вода, применяемая для испытаний согласно ГОСТ 23732–79 “Вода для бетонов и растворов. Технические условия”, была предварительно деаэрирована путем кипячения более 1 ч и не содержала агрессивных и коагулирующих частиц.

Давление увеличивали ступенями по 0,1 МПа с выдержкой на каждой ступени 1 ч. Подъем давления прекращали при появлении фильтрата, и при достигнутом давлении определяли коэффициент фильтрации.

Для каждого образца измеряли количество профильтровавшейся воды 6 раз. Первое измерение проводили через 1 ч после начала фильтрации, при этом прирост количества профильтровавшейся воды при трех последовательных измерениях с интервалом 30 мин не должен был превышать 20 %. Дальнейшие замеры производили каждые 30 мин.

Измерение количества фильтрата проводили объемным методом, собирая воду, прошедшую через образец. Значение коэффициента фильтрации вычисляли по формуле (2) [3]:

Коэффициент фильтрации испытанных образцов

Коэффициент основности $K_{осн}$	Коэффициент фильтрации $K_{ф}$, м/сут.	Примечание
0,8	0,00007	Водоупорн.
0,7	0,00014	Водоупорн.
0,6	0,00049	Водоупорн.
0,5	0,00063	Водоупорн.
0,4	0,04092	Не водоупорн.

$$K_{ф} = \eta \frac{Q\delta}{St\Delta P} k, \quad (2)$$

где $K_{ф}$ – коэффициент фильтрации, см/с; δ – толщина образца, см ($\delta = 15$ см); S – площадь образца, см² ($S = 177$ см²); τ – время, в течение которого измеряется объем фильтрата, с; $\Delta P = P_1 - P_2$ – разность давления на входе P_1 и выходе P_2 из образца (P_1 принимают равным избыточному давлению в системе установки, а $P_2 = 0$ при условии свободного истечения фильтрата с поверхности образца); η – коэффициент, учитывающий вязкость воды при различной температуре (т.к. температура воды составляла 20°С, принимали $\eta = 1,0$); k – коэффициент, учитывающий влияние диаметра образца (т.к. диаметр образцов составляет $D = 15$ см, принимали $k = 1$).

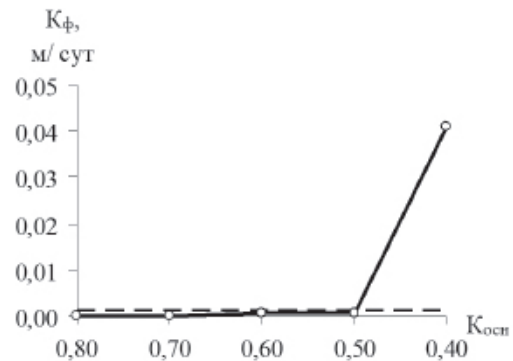
Вычисленные значения коэффициента фильтрации $K_{ф}$ для серии образцов выписывали в возрастающем порядке, после чего вычисляли среднее значение коэффициента фильтрации $K_{ф}$ как среднеарифметическое результатов определения для третьего и четвертого образцов.

Так как коэффициент фильтрации полученных образцов не превышал $K_{ф} \leq 0,001$ м/сут., т.е. материал был водоупорным, то уменьшали коэффициент основности смеси с шагом 0,1 до получения не водоупорного материала.

Фрагмент результатов испытаний представлен в таблице.

На рисунке приведена зависимость коэффициента фильтрации от коэффициента основности (с применением негашеной извести). Над пунктирной линией расположены значения коэффициента фильтрации образцов, не являющихся водоупором.

Было установлено, что коэффициент основности смеси значительно влияет на фильтрационные свойства закладочного массива. При $K_{осн} \leq 0,5$ образцы являются водоупорами.



Зависимость коэффициента фильтрации $K_{ф}$ от коэффициента основности $K_{осн}$.

Результаты проведенных исследований позволяют определить рациональные параметры закладочной смеси для получения безударного массива и разработать на их основе технологии закладки вертикальных горных выработок автоклавными вяжущими на основе отходов топливно-энергетических предприятий и извести.

Литература

1. Инструкция о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с пользованием недрами. РД 07-291–99. Федеральный горный и промышленный надзор России. М.: ГУП НТЦ Промышленная безопасность, 2002. 17 с.
2. Боженов П.И. Технология автоклавных материалов: учебное пособие. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1978. 368 с.
3. ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости. М.: Изд-во стандартов, 1994. 10 с.