

Е.А. Ермолович, А.Н. Кирилов, О.В. Ермолович
НАПРАВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ
ТВЕРДЕЮЩЕГО ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА
ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОГО
ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА

Предложен способ упрочнения закладочного массива, включающий размещение в формируемом массиве армирующих элементов одновременно с твердеющей смесью, причем в качестве армирующих элементов применяют асбест хризотил-овый. Относительные изменения прочностных характеристик от содержания асбеста носят экстремальный характер и хорошо аппроксимируются полиномиальными функциями второго и третьего порядков. Достоверность аппроксимации составляет 0,958–0,995. Анализ полученных данных показывает, что увеличение прочности массива при сжатии (25–30%) и растяжении при изгибе (26–32%) наблюдается при введении в него 3–6% от массы вяжущего асбеста хризотилового. Однако исследованиями установлено, что содержание асбестовых волокон более 3% препятствует транспортированию закладочной смеси, формирующей массив, по трубам и ее растеканию в камере. Трехпроцентная концентрация волокон от массы вяжущего (или 0,422% по всей массе) является оптимальной и рекомендуется для применения. Оценка прочности образцов при растяжении по методу раскалывания показала, что введение в состав 3% асбеста увеличивает ее на 35%, при этом уменьшая относительную деформацию усадки примерно в 2 раза.

Ключевые слова: управление геомеханическими процессами, твердеющий закладочный массив, асбест-хризотил-овые волокна, прочностные характеристики, деформация усадки.

С физической точки зрения все динамические проявления горного давления представляют собой лавинообразные процессы хрупкого разрушения (трещинообразования) пород в объеме массива. Одно из основных направлений решения этой проблемы заключается в исследовании свойств массива и направленном изменении его механических характеристик. В случае применения твердеющей закладки управление геомеханическими процессами кроется в определении оптимальных параметров искусственных целиков или закладочных массивов (геометрических и прочностных свойств, а также состава).

Техническим проектом немецкой кампании «ENGINEERING DOBERSEK

GmbH» для разработки Коробковского месторождения (ООО Комбинат КМАруда») регламентируется для камер первой очереди предел прочности при сжатии 8–10 МПа. Цементные закладочные составы такой прочности характеризуются повышенной хрупкостью, склонностью к трещинообразованию, повышенной относительной деформацией усадки, слабой сопротивляемостью действию знакопеременных нагрузок. Повышение содержания цемента лишь усугубит перечисленные проблемы. Поэтому актуальной становится проблема упрочнения искусственных закладочных массивов без повышения расхода вяжущего. Управление геомеханическими процессами при системах с ис-

кусственным поддержанием выработанного пространства в таких случаях может осуществляться упрочнением закладочного массива армирующими элементами.

Известные в настоящее время разработки акцентируют применение металлической арматуры в различных вариантах (трубы, анкеры, сетки, отрезки проволоки и т.д.) и требуют ее размещения в выработанном пространстве до его закладки [1–4]. Эти методы не только увеличивают материальные затраты, но и снижают безопасность работ, так же как и геоткани, требуя присутствия людей в выработанном пространстве при их размещении. Кроме того, экспериментальные исследования в большей части предложений либо совсем не проводились, либо ограничивались исследованиями предела прочности при сжатии. Такие важные для искусственного массива характеристики, как предел прочности при растяжении при изгибе, относительная деформация усадки, предел прочности при растяжении, возможно в силу трудоемкости процессов подготовки образцов и выполнения измерений, в научной литературе практически не освещены. Отдельные, освещенные в публикациях способы упрочнения массивов волокнистым материалом практически не осуществимы, так как

предлагаемые содержания последнего для увеличения прочности делает неосуществимой доставку смеси к месту закладки по трубопроводному транспорту и растекание ее в выработке. Это тоже дополнительно снижает безопасность работ [5].

Для устранения существующих недостатков предложен способ упрочнения закладочного массива, включающий размещение в формируемом массиве армирующих элементов одновременно с твердеющей смесью, причем в качестве армирующих элементов применяют асбест хризотилловый.

С химической точки зрения хризотилловый асбест представляет собой гидросиликат магния ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). По химическому составу он близок хорошо известному минералу тальку ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Хризотил часто встречается в природе. Он присутствует почти в двух третях земной коры. Кристаллы хризотилового асбеста представляют собой тончайшие полые трубочки-фибриллы диаметром $2,6 \cdot 10^{-5}$ мм (≈ 30 нм) и длиной до 2–3 см [6], что позволяет рассматривать его в качестве нанодисперсной арматуры.

По данным [7] по совокупности технических свойств волокна, на которые расщепляется хризотил-асбест, превосходят и природные, и искусственные волокна-заменители (таб-

Некоторые свойства волокон [7]

Волокна	Прочность на разрыв, МПа	Модуль Юнга, ГПа	Диаметр, мкм	Плотность, г/см ³
Хризотилового асбеста	1700–3700	164	0,02–30	2,6
Кремнеземные	1000–1100	340–410	16	1,30
Полипропиленовые	400–2000	8–200	10,6	0,90
Полиэфирные	186–213	28	3,6	1,75
Стекланные	250–1400	70–97	8–15	2,54–2,70
Стальные	400	175	25	7,86
Целлюлозные	300–860	10	40–160	1,26–1,40

лица). Производственные испытания показали, что стальные и углеродные волокна выдерживаются из цементной матрицы даже при малом усилии. Полиамидные, стеклянные и полиэфирные волокна при химическом взаимодействии с продуктами гидратации портландцемента теряют прочность ввиду низкой щелочестойкости. Во-

локна хризотилового асбеста отличаются хорошими адгезионными и когезионными свойствами, так как имеют достаточно высокую стойкость в щелочной среде.

Способ упрочнения закладочного массива осуществляется следующим образом. Искусственный массив формируется из твердеющей закладочной смеси, в которую перед ее укладкой

в выработанное пространство подают армирующие элементы – асбест хризотил – хризотил. При смешивании хризотилового волокна с вяжущим образуются прочные химические и физические связи. Твердеющая смесь транспортируется к месту формирования массива по трубам и подается в камеру. При растекании закладочной смеси по выработанному пространству волокна асбеста хризотилового распределяются равномерно во всем объеме будущего искусственного массива и блокируют рост трещин, образованию которых способствует низкая прочность бетона при растяжении при изгибе. Это позволяет существенно улучшить прочность при растяжении при изгибе и раскалывании и сжатии, снизить риски образования трещин, особенно в период усадки искусственного закладочного массива.

Для определения оптимального содержания волокон хризотил-асбеста были изготовлены семь серий модели закладочного массива, состоящие из вяжущего, заполнителя, суперпластификатора, воды. В первой

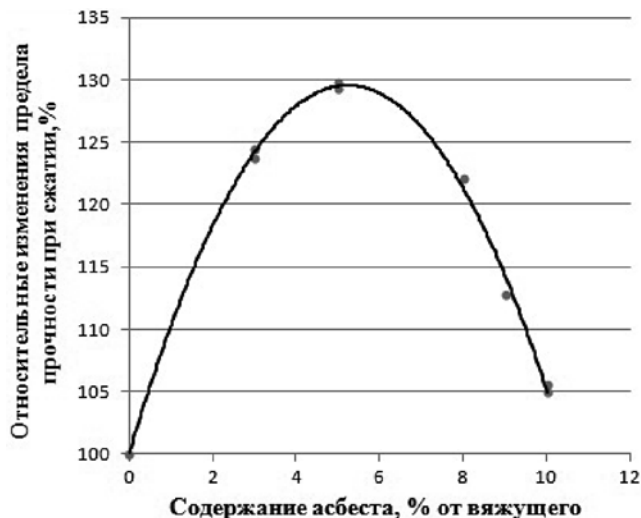


Рис. 1. График зависимости относительных изменений предела прочности закладочного массива при сжатии от содержания асбеста

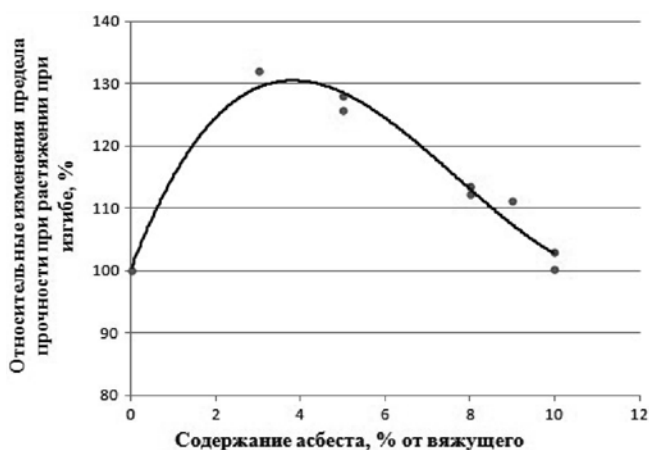


Рис. 2. График зависимости относительных изменений предела прочности закладочного массива при растяжении при изгибе от содержания асбеста

серии (контрольной) асбест хризотил-овый не добавляли. В остальных сериях в смесь вводили 3–10% по массе асбеста хризотилового. По истечении 90 суток образцы были испытаны на прочность при сжатии и растяжении при изгибе с использованием электронной испытательной машины Ин-строн 5882.

Относительные изменения прочностных характеристик от содержания асбеста носят экстремальный характер (рис. 1–2) и хорошо аппроксимируются полиномиальными функциями второго и третьего порядков:

$$\sigma_{сж} = -1,0802C^2 + 11,314C + 99,898;$$

$$\sigma_p = 0,1351C^3 - 3,117C^2 + 17,865C + 100,47;$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа; σ_p – предел прочности при растяжении при изгибе, МПа; C – содержание асбеста, % от вяжущего.

Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,995$ и $R^2 = 0,958$ соответственно.

Анализ полученных данных показывает, что увеличение прочности массива при сжатии (25–30%) и растяжении при изгибе (26–32%) наблюдается при введении в него 3–6% от массы вяжущего асбеста хризотилового. Однако исследованиями установлено, что содержание асбестовых волокон более 3% препятствует транспортированию закладочной смеси, формирующей массив, по трубам и ее растеканию в камере. Таким образом, трехпроцентная концентрация волокон от массы вяжущего (или 0,422%

от всей массы) является оптимальной и рекомендуется для применения. Оценка прочности образцов при растяжении по методу раскалывания показала, что введение в состав 3% асбеста увеличивает ее на 35%, при этом уменьшая относительную деформацию усадки примерно в 2 раза.

Необходимо отметить, что по стоимости асбест-хризотил-овое волокно экономически более целесообразно для применения в закладочных массивах по сравнению с волокнами-заместителями. 1 т хризотилового волокна на мировом рынке стоит 200–400 долл. США, целлюлозы – 600–800 долл., ПВХ – 3,5–4,0 тыс. долларов. Кроме того, многочисленными исследованиями установлено, что асбест хризотил-овый не приносит вреда, если находится в связи с цементом и не способен выделяться в окружающую среду при воздействии воды. И в соответствии с национальными стандартами (NESHAP) Агентства по охране окружающей среды (EPA – Environmental Protection Agency) США асбестосодержащими материалами считаются материалы с содержанием асбеста более 1% по объему. Таким образом, введение 3% от вяжущего (0,422% по массе) асбеста хризотилового в закладочный массив не только позволяет управлять его свойствами, но и не наносит вред окружающей среде.

Исследования выполнены с применением оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием НИУ «БелГУ» «Диагностика структуры и свойств наноматериалов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комаров Е.И., Комаров К.Е., Томаев В.К., Фурсов Е.Г. Патент 2367797 РФ Способ закладки отработанных камер. Оpubл. в БИ. – 2009. – № 26.

2. Коршунов В.А., Дорджиев Д.Ю., Мишанов В.А., Яхеев В.А. Расположение подготовительных выработок в армированной твердеющей закладке при рудной подготов-

ке, как способ защиты от горных ударов // Горный журнал. Известия вузов. – 2011. – № 6. – С. 80–86.

3. Малетин Л.В., Бадаев В.Ю., Слупчук В.В., Фокин А.Н., Вечкитов А.В. АС СССР 1462060 Арматура для упрочнения закладочного массива в горных выработках. Опубл. в БИ. – 1989. – № 8.

4. Ермолович Е.А. Патент 2436962 РФ Способ формирования закладочного массива. Опубл. в БИ. – 2011. – № 35.

5. Пономарев Л.Ф., Крупник Л.А., Амирханов З.С., Мандровский А.М., Омарбаев Н.О., Дериглазов В.Н., Шукман В.Р. Патент 2019712 РФ Способ упрочнения закладочного массива. Опубл. в БИ. – 2000. – № 27.

6. Фомина О. Асбест the best? // Строительный эксперт. – 2011. – № 15–16 (321). – С. 3–4.

7. Нейман С.М., Везенцев А.И., Кашанский С.В. О безопасности асбестоцементных материалов и изделий – М.: Стройматериалы, 2006. – 64 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ермолович Елена Ахмедовна – доктор технических наук, профессор,

e-mail: elena.ermolovich@mail.ru, НИУ «БелГУ»,

Кирилов Александр Николаевич – аспирант, e-mail: bsu030989@rambler.ru, НИУ «БелГУ»,

Ермолович Олег Вячеславович – председатель наблюдательного совета

ООО «Торговый дом «Карина», e-mail: oleg.ermolovich@mail.ru.

UDC 622.02:531

DIRECTIONAL CHANGES IN THE PROPERTIES OF HARDENING FILLING MASS THROUGH THE APPLICATION OF NATURAL FIBER MATERIAL

Ermolovich E.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University, Belgorod, 308015, Russia, e-mail: elena.ermolovich@mail.ru

Kirilov A.N., Graduate Student, Belgorod State National Research University,

Belgorod, 308015, Russia, e-mail: bsu030989@rambler.ru

Ermolovich O.V., Vice Chairman of Supervisory Board, LLC Trading House «Karina»,

Belgorod, 308000, Russia, e-mail: oleg.ermolovich@mail.ru.

A method of hardening of filling mass that includes placing in the formed mass of reinforcing elements along with hardening mixtures is proposed, and chrysotile asbestos are used as reinforcing elements. Relative changes in the strength characteristics from asbestos contents are extreme in nature and are well approximated by polynomial functions of the second and third orders. Reliability of approximation is 0,958–0,995. Analysis of the data shows that an increase in the compressive strength of the mass (25–30%) and flexural strength (26–32%) is observed when a 3–6% by weight of the binder of chrysotile asbestos are introduced. However, it is founded that the content of asbestos fibers over 3% preclude transporting through pipes of filling mixture and its spreading in the chamber. Three percent concentration of the fiber from the binder weight (or 0,422% by all weight) is optimal and is recommended for use. Evaluation of tensile strength of the samples according to the method of splitting showed that the introduction of the 3% asbestos increases it by 35%, while reducing the relative deformation of shrinkage of about 2 times.

Key words: management of geomechanical processes, hardening filling mass, asbestos- chrysotile fibers, the strength characteristics, shrinkage deformation.

REFERENCES

1. Komarov E.I., Komarov K.E., Tomaev V.K., Fursov E.G. Patent RU 2367797. 2009.
2. Korshunov V.A., Dordzhiev D.Yu., Mishanov V.A., Yakheev V.A. Gornyi zhurnal. Izvestiya vuzov. 2011, no 6, pp. 80–86.
3. Maletin L.V., Badaev V.Yu., Slupchuk V.V., Fokin A.N., Vechkitov A.V. Copyright certificate USSR 1462060. 1989.
4. Ermolovich E.A. Patent RU 2436962. 2011.
5. Ponomarev L.F., Krupnik L.A., Amirkhanov Z.S., Mandrovskii A.M., Omarbaev N.O., Deriglazov V.N., Shukman V.R. Patent RU 2019712. 2000.
6. Fomina O. Stroitel'nyi ekspert. 2011, no 15–16 (321), pp. 3–4.
7. Neiman S.M., Vezentsev A.I., Kashanskii S.V. O bezopasnosti asbestotsementnykh materialov i izdelii (On the safety of asbestos cement materials and products), Moscow, Stroimaterialy, 2006, 64 p.