

УДК 622.272

**ВЛИЯНИЕ АРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ФОРМИРУЮЩЕЙ МАССИВ КОМПОЗИЦИИ**
**THE EFFECT OF REINFORCING ELEMENTS ON THE RHEOLOGICAL
PROPERTIES OF THE FORMING MASSIF COMPOSITION**

Е.А. Ермолович, А.Н. Кирилов, С.В. Донецкий
E.A. Ermolovich, A.N. Kirilov, S.V. Donetskiy

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород,
ул. Победы, 85*

Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: elena.ermolovich@mail.ru; bsuo30989@rambler.ru

Ключевые слова: реологические свойства, закладочные композиционные материалы, армирующие элементы, вискозиметр Суттарда.

Key words: rheological properties, stowing composite materials, the reinforcing elements, Suttard viscometer.

Аннотация. Рассмотрены результаты экспериментальных исследований реологических свойств образцов на основе лежалых отходов обогащения железистых кварцитов упрочненных дисперсно-армированных закладочных смесей. Приведено корреляционное уравнение и график относительного изменения растекаемости закладочной смеси от содержания армирующих элементов в виде хризотилового асбеста. Установлено, что растекаемость смеси уменьшается на 15–72% при введении армирующих элементов от 3 до 10% по весу от вяжущего вещества. Доказано, что для сохранения транспортабельности композиции содержание асбестовых волокон не должно превышать 3,5% от массы вяжущего вещества. Полученная зависимость может использоваться для прогнозирования растекаемости смеси при проектировании закладочных композиций с армирующими элементами из волокнистого материала.

Resume. The results of experimental studies of the rheological properties of samples of dispersion-strengthened reinforced backfill mixtures are considered. Backfill compositions contain ferruginous quartzite beneficiation tailings. Chrysotile asbestos is used as reinforcing elements. The cement is used as a binder. The Superplasticizer Polyplast SP-1 is added to improve the rheological properties of the mixtures. The chemical analysis is made by X-ray fluorescence on the ARL Optim'X spectrometer. The XRD spectra are recorded using an Ultima IV Rigaku diffractometer ($\text{Cu K}\alpha$, $\lambda = 0.154059$ nm, in the range of $2\theta = 10^\circ$ to 110° at the step size of $\Delta(2\theta) = 0.02^\circ$ and scanning speed of 2.5 s). The spreadability of the mixture is determined for Suttarda viscometer. The correlational equation and a graph of the relative change of the stowing mixes spreadability from the content of reinforcing elements are presented. The spreadability mixture is reduced by 15–72% upon administration of reinforcing elements from 3 to 10% by weight of the binder. Content of asbestos fibers should not exceed 3.5% by weight of the binder to save transportability composition. The resulting relationship may be used to predict the spreadability of the mixture for the design of stowing compositions with reinforcing elements from a fibrous material.

Введение

Анализ отечественного и мирового опыта разработки месторождений полезных ископаемых (в том числе на территории Курской магнитной аномалии) показывает, что наиболее перспективной является система отработки с последующей твердеющей закладкой выработанного пространства [Монтянова, 2005; Ермолович, 2010].

Формирование закладочных массивов обусловлено рядом факторов:

1. За счет частичного или полного исключения рудных целиков и замены их искусственными, отработки охранных рудных целиков системами с высокими технико-экономическими показателями резко сокращаются потери, снижается разубоживание отбиваемой руды.

2. Помимо технических аспектов применение систем с закладкой выработанного пространства позволяет снизить негативное влияние горного производства на окружающую среду благодаря использованию отходов производства. Сокращение до минимума площадей хвостохранилищ или их ликвидация за счет использования хвостов обогащения для приготовления закладочных смесей позволит существенно сократить территории горных отводов, что особенно важно в районах с плодородными землями. Использование отходов производства для приготовления закладочной смеси имеет как экологический, так и экономический эффект [Требуков, 1981].

Закладочные материалы, используемые при создании искусственных массивов должны



обладать комплексом необходимых реологических свойств в соответствии с требованиями по их эксплуатации в реальных условиях.

Изучение реологических свойств закладочных смесей позволяет оценить транспортабельность смесей по трубопроводу. В процессе закладывания целикового массива закладочный раствор почти непрерывно находится в движении, следовательно, независимо от условий окружающей среды его свойства должны обеспечивать хорошую подвижность в течение заданного времени. Закладочный раствор должен оставаться в текучем состоянии в течение всего времени, необходимого для его транспортирования в закладываемую камеру [Хайрутдинов, 2007; Чистяков и др., 2009].

Для повышения прочности искусственных массивов и уменьшения относительной деформации усадки применяются армирующие элементы, которые также влияют на реологические свойства смеси.

Цель исследования – изучение влияния армирующих элементов на растекаемость закладочной композиции, формирующей искусственный массив.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – закладочные композиции на основе лежалых отходов обогащения железистых кварцитов ОАО «Комбинат КМАруда» с армирующими элементами.

Химический анализ, выполненный методом рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) на спектрометре ARL Optim'X, показал, что лежалые отходы обогащения железистых кварцитов мокрой магнитной сепарации содержат по весу около: 47.71% SiO_2 ; 39.07% Fe_2O_3 ; 7.03% CaO ; 2.26% MgO ; 0.57% P_2O_5 ; 1.62% Al_2O_3 ; 0.86% K_2O ; 0.34% Na_2O ; 0.22% TiO_2 ; 0.19% MnO ; 0.13% SO_3 . Рентгеновские дифракционные спектры, полученные на дифрактометре Ultima IV Rigaku ($Cu\ K\alpha$, $\lambda = 0.154059$ нм, в области углов 2θ от 10° до 110° с пошаговым сканированием $\Delta(2\theta) = 0.02^\circ$ и временем экспозиции 2.5 с), представлены только дифракционными линиями кварца SiO_2 (#00-046-1045 ICDD PDF-2), гематита Fe_2O_3 (#01-086-0550 ICDD PDF-2), магнетита (#01-086-1346 ICDD PDF-2) Fe_3O_4 , суглинок и доломита $CaMg(CO_3)_2$ (#01-073-2361 ICDD PDF-2).

В качестве армирующих элементов применялся асбест хризотилковый – хризотил, выпускаемый ОАО «Ураласбест» по ГОСТ 12871-93, ТУ 5721-01-028-1476, ТУ 21-22-23.

В качестве вяжущего использовали цемент ЦЕМ II 32.5АШ.

Для улучшения реологических свойств в смесь добавляли суперпластификатор Полипласт СП-1.

Исследование проводилось согласно ГОСТ 5802-73 «Растворы строительные. Методы испытаний». Растекаемость композиций определялась по диаметру пятна расплыва на вискозиметре Суттарда.

Результаты и их обсуждение

В работе исследовались 7 составов закладочных композиций с содержанием армирующих элементов от 0 до 10% от вяжущего вещества по весу.

Полученные данные представлены в таблице.

Таблица
Table

Измерения растекаемости смесей на вискозиметре Суттарда
The spreadability of the mixture obtained for Suttarda viscometer

Содержание армирующих элементов, масс. % от вяжущего вещества	Диаметр пятна растекания, мм	Содержание армирующих элементов, масс. % от вяжущего вещества	Диаметр пятна растекания, мм
0	210	8	90
3	180	9	75
5	115	10	60
7	95	-	-

По результатам исследований была установлена корреляционная зависимость между относительным изменением растекаемости закладочной композиции от содержания в ней армирующих элементов:

$$d = -7.3622C + 100.3,$$

где d – относительное изменение растекаемости закладочной композиции, %; C – содержание армирующих элементов, % от вяжущего вещества.

График зависимости приведен на рисунке. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0.9641$.

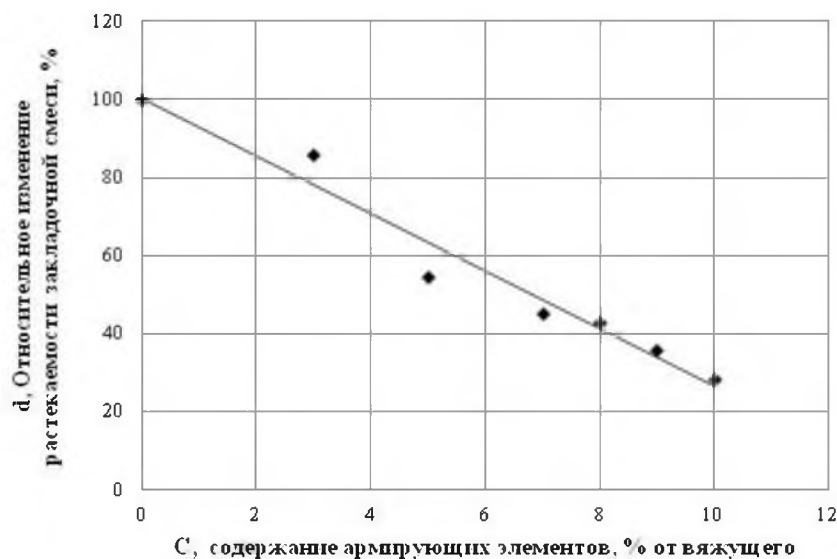


Рис. Зависимость растекаемости закладочной смеси, формирующей искусственный массив, от содержания асбестовых волокон
Fig. The variation of spreadability of forming an artificial massif stowing mixes as a function of mean content of reinforcing elements

Растекаемость закладочных смесей служит косвенной характеристикой их подвижности и может являться экспресс-методом стабильности выдерживания данного параметра в процессе производства закладочных композиций. Смеси пригодны для транспортирования по трубам при подвижности 9–14 см (полное погружение эталонного конуса) [Монтянова, 2005]. Такой подвижности соответствует растекаемость 15–20 см. Ранее авторами было доказано, что введение суперпластификатора в малоцементные закладочные смеси существенно повышает их текучесть в среднем на 86% и позволяет транспортирование их трубопроводным транспортом и растекание в закладочной камере [Ермолович и др., 2012]. Однако анализ полученных данных уточняет, что введение в закладочные композиции армирующих элементов в виде асбестовых волокон существенно изменяет их реологические свойства, несмотря на наличие суперпластификатора в смеси, а условиям транспортабельности удовлетворяют композиции с содержанием армирующих элементов не более 3.5% от массы вяжущего вещества. Известны технические решения [Пономарев и др., 2000], в которых для увеличения прочности закладочного массива при сжатии и изгибе предлагается использование армирующих элементов в виде волокнистого материала в количестве 4–5% от массы твердеющей смеси. Это количество в 8–10 раз превышает предельное содержание, определенное в данном исследовании. Предлагаемое количество армирующих элементов, несомненно, упрочняет закладочный массив, но ограничивает подвижность формирующей его смеси, исключая ее транспортирование по трубам и растекание в заполняемой камере. Данная смесь может доставляться в камеру только ковшевыми погрузчиками или самосвалами и укладываться вручную, что приведет к усложнению технологической схемы, удорожанию работ и снижению безопасности. Для предотвращения подобной ситуации полученные результаты необходимо учитывать при проектировании искусственного массива на основе лежалых отходов обогащения железистых кварцитов с добавлением асбестового волокна для придания высокой прочности, уменьшения усадки при сохранении транспортабельности композиции, формирующей массив.

Заключение

1. Растекаемость смеси уменьшается на 15–72% при введении армирующих элементов от 3 до 10% по весу от вяжущего вещества.
2. Для сохранения транспортабельности композиции содержание асбестовых волокон не должно превышать 3.5% от массы вяжущего вещества.
3. Полученная зависимость может использоваться для прогнозирования растекаемости смеси при проектировании закладочных композиций с армирующими элементами из волокнистого материала.



Список литературы References

1. Ермолович Е.А. 2010. Применение закладки выработанного пространства шахт и рудников: состояние, недостатки, возможности совершенствования для улучшения экологического состояния среды. *В кн.: Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Материалы 6-ой международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики (Тула, 27–29 октября 2010 г.)*. Тула, Изд-во ТулГУ, 2: 330–337.
Ermolovich E.A. 2010. Application of back fills hardening out of space of mines: the state, weaknesses, opportunities for perfecting to improve the ecological state of the environment. *In: Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoy promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki. Materialy 6-oy mezhdunarodnoy konferentsii po problemam gornoy promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki [Socio-economic and environmental problems of the mining industry, building and energetic. Materials of the 6-st international conference on the mining industry, building and energetics problems (Tula, 27-29 October, 2010)]*. Tula, Izd-vo TulGU, 2: 330–337. (in Russian)
2. Ермолович Е.А., Шок И.А., Измest'ев К.А., Кирилов А.Н., Донецкий С.В. 2012. Исследование влияния суперпластификатора на свойства твердеющих бесцементных и малоцементных закладочных композитов на основе горно-металлургических отходов. *В кн.: Научный потенциал мира – 2012. Материалы VIII международной научно-практической конференции (София, 17–25 сентября, 2012 г.)*. София, ООД «Бял ГРАД-БГ», 17: 53–56.
Ermolovich E.A., Shok I.A., Izmet's'ev K.A., Kirilov A.N., Donetskiy S.V. 2012. Investigation of a super plasticizer influence on the properties of hardening cementless and low cement stowing composites based on mining and metallurgical waste. *In: Nauchnyy potentsial mira – 2012. Materialy VIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Materials of the VIII international scientific and practical conference (Sofia, 17–25 September 2012)]*. Sofia, OOD «Byal GRAD-BG», 17: 53–56. (in Russian)
3. Монтянова А.Н. 2009. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне. М., Горная книга, 597.
Montyanova A.N. 2009. Formirovaniye zakladochnykh massivov pri razrabotkealmaznykh mestorozhdeniy v kriolitozone [Formation of stowing massif in the development of diamond deposits in permafrost]. М., Gornaya kniga, 597. (in Russian)
4. Пономарев Л.Ф., Крушник Л.А., Амирханов З.С., Мандровский А.М., Омарбаев Н.О., Дериглазов В.Н., Шукман В.Р. 2000. Способ упрочнения закладочного массива. Патент РФ №2019712. Бюл. 27.
Ponomarev L.F., Krupnik L.A., Amirkhanov Z.S., Mandrovskiy A.M., Omarbaev N.O., Deriglazov V.N., Shukman V.R. 2000. A method of hardening of stowing massif. Patent RF №2019712. Bull. 27. (in Russian)
5. Требуков А.Л. 1981. Применение твердеющей закладки при подземной добыче руд. М.: Недра, 172.
Trebukov A.L. 1981. Primeneniye tverdeyushchey zakladki pri podzemnoy dobyche rud. [Application of hardening back fill at underground mining]. М., Nedra, 172. (in Russian)
6. Хайрутдинов М.М. 2007. Выбор химических добавок для твердеющих закладок, улучшающих режим подачи трубопроводным транспортом. Горный информационно-аналитический бюллетень, (7): 278–281.
Khayrutdinov M.M. 2007. The choice of chemical additives in filling mixtures for improving feed mode pipeline. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], (7): 278–281. (in Russian)
7. Чистяков М.М., Хайрутдинов М.М., Артюхов Е. В. 2009. Влияние различных способов активации на физико-механические свойства закладки. Горный информационно-аналитический бюллетень, (3): 232–246.
Chistyakov M.M., Khayrutdinov M.M., Artyukhov E. V. 2009. Influence of different ways of activation of the physico-mechanical properties of back fill. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], (3): 232–246. (in Russian)