

Полученные результаты могут быть использованы в качестве граничных условий при разработке методики определения сдвижений подрабатываемого массива в Западном Донбассе.

Список литературы

1. **Кириченко В.Я.** Явление образования перемещающихся нарушенных зон впереди лавы / **В.Я. Кириченко, Ю.М. Халимендик, А.В. Лишин, Б.М. Усаченко** // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – № 1, 2001. – С. 27-28.
2. **Кучин А.С.** Сдвижение массива горных пород в западном донбассе / **А.С. Кучин** // Проблеми гірського тиску. Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип.19 – С.38-61.
3. **Земисев В.Н.** Определение напряжений в угольном пласте с учетом сдвижений земной поверхности / **В.Н. Земисев** // ВНИМИ. – 1975. – Сб. 96. – С. 33-40.
4. **Земисев В.Н.** Деформации пород в зоне опорного давления / **В.Н. Земисев, А.Н. Кучин** // ВНИМИ, 1968. – Сб. 68. – С. 314-327.
5. **Кучин А.С.** Пространственное смещение точек земной поверхности при подработке / **А.С. Кучин** // Разраб. рудн. месторожд, 2011. – Вып. 94. – С.134-137.

Рукопись поступила в редакцию 10.04.12

УДК 622.273.217.4

М.В. ПЕТЛЕВАНЬИЙ, ассистент, ГВУЗ «Национальный горный университет»

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКИ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Приведены результаты исследования влияния величины дисперсных частиц доменного гранулированного шлака и известняка на структурные особенности и прочность закладочного массива при разработке железных руд системами с твердеющей закладкой. Предложены технологические рекомендации по формированию закладочного массива для повышения его устойчивости.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. При разработке крутопадающих месторождений камерными системами с твердеющей закладкой актуальным является вопрос устойчивости закладочного массива. Это связано с большими размерами очистных камер и возрастанием интенсивности проявления горного давления. В таких условиях состав закладочной смеси должен формировать прочный закладочный массив.

На ЗАО «ЗЖРК» добычу руды ведут в интервале глубин 640-840 м. При прочности закладочного массива 6-7 МПа наблюдаются разрушения закладочного массива днищ и бортов заложённых камер, при отработке камер второй очереди, что приводит к разубоживанию руды и снижению устойчивости. Это свидетельствует о недостаточной прочности твердеющей закладки. Основными причинами разрушения закладочного массива являются физические – горное давление и воздействие взрывной отбойки на обнажения закладочного массива, а также химические – формирование слабоустойчивых химических структур в закладочном массиве. Исследованию устойчивости структур и повышению качества закладочного массива посвящена данная статья.

Анализ исследований и публикаций. Повышению эффективности использования твердеющей закладки на ЗЖРК посвящены исследования В.П. Волощенко [1], в которых он заложил основные направления совершенствования. Основным направлением считается механоактивация или химическая активация компонентов закладки с переходом на двухстадийную схему измельчения вяжущего материала. Однако в настоящее время отсутствуют работы по исследованию изменения структуры и прочности твердеющей закладки с увеличением удельной поверхности частиц вяжущего материала. Структура твердеющей закладки подвергалась исследованию для установления возможного влияния коррозии и полимерных добавок на свойства твердеющего камня [2,3].

Постановка задач. Целью статьи является исследование формы и химического состава кристаллических новообразований в структуре закладки с увеличением удельной поверхности вяжущего материала, а также разработка технологических рекомендаций по формированию прочного и устойчивого закладочного массива.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

Приготовление экспериментальных составов твердеющей закладки с разной удельной поверхностью вяжущего материала.

Испытание образцов экспериментальных составов твердеющей закладки на одноосное сжатие.

Исследование формы и химического состава кристаллических новообразований в структуре твердеющей закладки методом растровой электронной микроскопии.

Изложение материала и результаты. Для производства закладочных работ ЗЖРК использует в качестве вяжущего материала доменный гранулированный шлак предприятия «Запорожсталь» в количестве 400-500 кг/м³, отсев известняка флюсового Докучаевского флюсо- доломитного комбината – 850-1100 кг/м³ и дробленную отвальную породу как инертный заполнитель - 400-550 кг/м³. Цемент добавляют при заполнении днищ камер и подэтажных выработок.

Методика исследования. Для приготовления твердеющей закладки на ЗЖРК шлак измельчается до 50-60 % остатка частиц на сите -0,074 мм, добавляется известняк флюсовый крупностью до 5 мм, дробленные породы крупностью до 20 мм и производится затворение водой. Удельная поверхность частиц измельченного шлака, получаемая при измельчении в шаровых мельницах закладочного комплекса, составляет 2000 см²/г при 57 % остатке на сите -0,074 мм.

Для исследования влияния удельной поверхности на свойства закладочных смесей доменный гранулированный шлак и известняк флюсовый были подвержены механическому измельчению в лабораторной установке струйного измельчения УСИ-20 до удельной поверхности 2800, 4300 и 6600 см²/г. Значения удельной поверхности определялись на приборе В.В. Товарова.

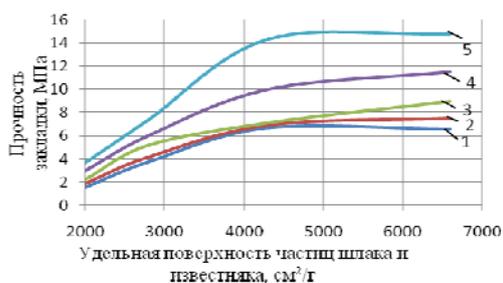
В лаборатории закладочного комплекса было испытано 12 составов закладочных смесей при расходе измельченного шлака 100, 200, 300 кг/м³ и удельной поверхности 2000, 2800, 4300, 6600 см²/г. Согласно [4], в каждый экспериментальный состав твердеющей закладки добавляли измельченный флюсовый известняк в качестве микрозаполнителя с удельной поверхностью, аналогичной шлаку в количестве 50 % от его доли. При расходе воды 400 л на 1 м³ предельное напряжение сдвига экспериментальных закладочных смесей не превышало 10 кг/см², подвижность находилась в пределе 11,3-11,6 см. Время потери подвижности закладочных смесей находится в пределе 13-14 часов. Полагаем, что транспортабельные свойства закладочных смесей удовлетворяют технологии ведения закладочных работ.

Для исследования структуры твердеющей закладки применили растровый электронный микроскоп РЕММА – 102-02 со встроенным микроанализатором, который предназначен для получения химического состава в заданной точке. Исследованию подвергались изломы образцов твердеющей закладки после испытания на прочность.

Результаты исследования. В результате испытания образцов твердеющей закладки на одноосное сжатие установлена зависимость прочности твердеющей закладки от величины удельной поверхности, которая представлена на рис. 1.

Рис. 1. График определения состава твердеющей закладки по заданной прочности: 1 - расход шлака 100 кг/м³, известняка 50 кг/м³; 2 - расход шлака 150 кг/м³, известняка 75 кг/м³; 3 - расход шлака 200 кг/м³, известняка 100 кг/м³; 4 - расход шлака 250 кг/м³, известняка 125 кг/м³; 5 - расход шлака 300 кг/м³, известняка 150 кг/м³

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 1 показывает повышение прочности закладки с увеличением удельной поверхности частиц шлака и известняка. При этом достигаются высокие показатели прочности закладки уже в возрасте 30 дней. Максимальное измельчение шлака и известняка рекомендуется до удельной поверхности 6500 см²/г в связи с медленным шагом набора прочности свыше указанного предела. Используя представленные зависимости можно уменьшить долю доменного шлака в 1,5-2 раза, что приведет к экономии затрат на материалы до 20 %.



Проведем анализ структурных особенностей исследованных образцов закладки по микрофотографиям, представленных на рис. 2.

Для установления причины интенсивного набора прочности твердеющей закладки с увеличением удельной поверхности была исследована структура образцов затвердевшей закладки на растровом электронном микроскопе РЕММА-102-02. В результате исследований изломов образцов закладки с различной удельной поверхностью обнаружены структуры, представленные на рис. 2.

Образец твердеющей закладки, применяемой на ЗЖРК, при удельной поверхности доменного шлака 2000 см²/г (рис. 2а). Кристаллические новообразования имеют плотные, округло-неопределенные формы частиц с выступающими неупорядоченными редкими одиночными иглами и пластинками. Новообразования представлены гидросиликатами кальция, которые находятся в гелеобразном состоянии.

Образец твердеющей закладки при удельной поверхности доменного шлака и известняка 2800 см²/г (рис. 2б). Исследование образца позволило установить структурные изменения, связанные с появлением крупных сростков игольчатой формы, а также присутствие гидросиликатного геля округлой, пирамидальной и многогранной формы.

Образец твердеющей закладки при удельной поверхности доменного шлака и известняка 4300 см²/г. В структуре данного образца (рис. 2в) наблюдается четко выраженная сформированная игольчато-волокнистая и остроугольная форма гидросиликатов кальция, наблюдается плотное распределение частиц в отношении друг к другу, меньшая пористость, полное покрытие зерен инертного заполнителя гидратными образованиями.

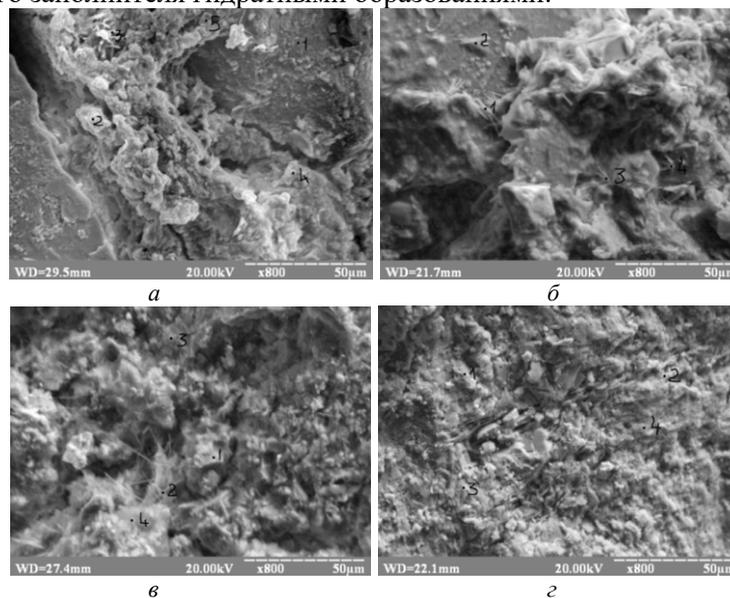


Рис. 2. Структура твердеющей закладки: а – ЗЖРК $S_{уд.} = 2000 \text{ см}^2/\text{г}$, $R_{сж} = 5,5 \text{ МПа}$; б – экспериментальный состав $S_{уд.} = 2800 \text{ см}^2/\text{г}$, $R_{сж} = 6 \text{ МПа}$; в – экспериментальный состав $S_{уд.} = 4300 \text{ см}^2/\text{г}$, $R_{сж} = 7,12 \text{ МПа}$; г – экспериментальный состав $S_{уд.} = 6600 \text{ см}^2/\text{г}$, $R_{сж} = 14,6 \text{ МПа}$

Это приводит к повышению силы сцепления кристаллических новообразований с инертным заполнителем и повышает сопротивляемости связей нагрузкам. При этом замечен переход от округлой к остроугольной формы новообразований.

Образец твердеющей закладки при удельной поверхности доменного шлака и известняка 6600 см²/г. Исследование образца показало плотное прилегание частиц друг к другу, практически отсутствуют поры (рис. 2г). Форма новообразований мелкокристаллическая, слоисто – пластинчатая. Игольчатая форма гидросиликатов кальция не формируется вследствие отсутствия пор и полостей в структуре, необходимых для роста кристаллов.

Прочность связей зависит от их основности, а именно соотношения CaO/SiO₂. Считается, что высокой прочностью обладают низкоосновные гидросиликаты кальция, что обусловлено возрастанием доли сильной ионной ковалентной связи Si-O. С помощью микрорентгеноспектрального анализа получены данные количественного содержания оксидов CaO и SiO₂ в гидросиликатах кальция. В табл. 1 приведены показатели основности гидросиликатов кальция в исследуемых образцах.

Таблица 1

Химический состав исследуемых точек и форма новообразований в структуре закладки

Образец твердеющей закладки	$S_{уд.}$, см ² /г	Номер точки	Содержание оксидов в точках, %		Среднее значение CaO /SiO ₂	Форма новообразований
			CaO	SiO ₂		
ЗЖРК	2000	2	55,12	25,14	2,63	Округлая, неопределенная

		3	52,48	26,60		
		4	49,68	26,63		
		5	71,53	15,76		
Экспериментальный № 1	2800	1	39,21	26,27	1,77	Пирамидальная остроугольная, толстые иголки
		2	56,99	26,22		
		3	40,23	21,59		
		4	37,49	24,27		
Экспериментальный № 2	4300	2	45,50	22,06	1,48	Пирамидальная остроугольная, игольчато-волокнистая
		3	31,16	34,18		
		4	38,10	29,70		
Экспериментальный № 3	6600	1	41,40	23,58	1,37	Мелкокристаллическая, слоисто-пластинчатая, остроугольная
		2	40,11	23,55		
		3	38,26	28,50		
		4	27,96	38,70		

Обработка данных средних значений основности гидросиликатов в структуре твердеющей закладки позволила установить полиномиальную зависимость 3-го порядка основности гидросиликатов кальция от величины удельной поверхности, которая представлена на рис.3.

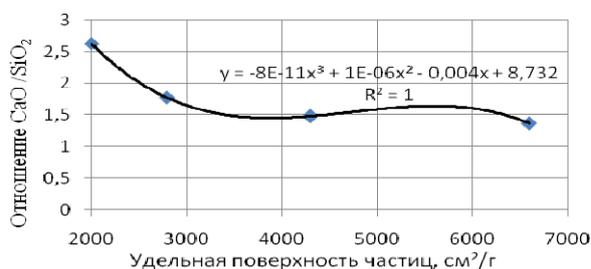


Рис. 3. Зависимость основности гидросиликатов кальция от удельной поверхности доменного шлака и известняка

Для того, чтобы классифицировать связи гидросиликатов кальция в структурах исследуемых образцов закладки по основности необходимо оперировать значениями основности. При химическом исследовании цементного камня гидросиликаты кальция с отношением $\text{CaO}/\text{SiO}_2 < 1,5$ являются низкоосновными и представляют собой слоистый гидросиликат кальция с отношением $\text{CaO}/\text{SiO}_2 > 1,5$ высокоосновными – в основном волокнистый гидросиликат кальция [5]. В твердеющей закладке низкоосновные гидросиликаты кальция, согласно табл. 1, формируются при удельной поверхности шлака и доломита 4300-6600 $\text{см}^2/\text{г}$.

Следовательно, одной из причин слабой устойчивости искусственного массива при воздействии горного давления и сейсмических волн является отсутствие в структуре к трехмесячному возрасту закладки прочных связей низкоосновных гидросиликатов кальция, которые начинают формироваться к более позднему сроку. Об этом свидетельствуют показатели высокой прочности некоторых образцов в возрасте 6 месяцев (9-13 МПа). Структурные связи представлены гелеобразными соединениями. С повышением удельной поверхности форма новообразований закономерно изменяется, игольчато-волокнистая структура перестает формироваться, образуются слоисто-пластинчатые гидросиликаты кальция.

Исходя из химического состава и формы структурных связей в твердеющей закладке, рекомендуется к заполнению в областях действия растягивающих напряжений составы твердеющей закладки, микроструктура которых после твердения принимает игольчато-волокнистые формы новообразований. Это объясняется тем, что игольчатые связи распределяются в искусственном камне неопределенно, иглы и волокна взаимопересекаются, что создает армирование твердеющей системы и повышение силы сцепления между кристаллами. Данная структура достигается при удельной поверхности доменного гранулированного шлака и доломита 4000 – 4500 $\text{см}^2/\text{г}$.

В областях действия сжимающих напряжений, наиболее эффективно использовать твердеющую закладку со слоистой структурой новообразований. Горизонтальное расположение слоисто-пластинчатых гидросиликатов кальция в структуре закладки повышает сопротивляемость к сжатию искусственного массива в целом. Данная структура достигается при удельной поверхности доменного гранулированного шлака и доломита свыше 6000 $\text{см}^2/\text{г}$.

При одинаковой прочности твердеющей закладки варьируя величиной удельной поверхности можно искусственному массиву придавать разную структуру. Управление структурой твердеющей закладки является новым и важным технологическим аспектом с увеличением глубины разработки.

Выводы. С увеличением удельной поверхности шлака и известняка с 2000 до 6000 см²/г происходят структурные изменения в закладочном массиве состава «шлак-доломит-порода», связанные с переходом формы связей гидросиликатов кальция от округлой к слоисто-пластинчатой, при этом их основность снижается на 56 % и описывается полиномиальной зависимостью 3 порядка, что приводит к упрочнению твердеющей закладки в 3,1-4,5 раза (в зависимости от расхода шлака).

Игольчато-волокнистая структура закладочного массива наиболее устойчива к растяжению, слоисто-пластинчатая к сжатию. Следовательно, заполнять составами твердеющей закладки с вышеуказанной структурой можно в областях концентрации растягивающих и сжимающих напряжений, возникающих при отработке камер, что повысит устойчивость закладочного массива.

Список литературы

1. Волощенко В.П. Геомеханические основы разработки мощных железорудных месторождений системами с закладкой: Дис. доктора техн. наук. Днепропетровск, 1985. – 314 с.
2. Айнбиндер И.И. Изучение причин разрушения образцов закладочного камня сформированного из смесей на основе сульфидных хвостов обогащения / Айнбиндер И.И., Родионов Ю.И., Аршавский В.В., Хуцишвили В.И. // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2010. – №1. – С. 7-16.
3. Горбунова О.А. Разработка составов твердеющей закладки на основе отходов горно-обогатительного производства с добавкой полимеров класса полигексаметиленгуанидинов / О.А. Горбунова // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2010. – Т. 2. – №12. – С. 62-69.
4. Кузьменко А.М. Петлеваний М.В., Усатый В.Ю. Влияние тонкоизмельченных фракций шлака на прочностные свойства твердеющей закладки. Школа подземной разработки IV Международная научно - практическая конференция 12-18 сентября, Днепропетровск НГУ 2010 г, сборник научных трудов, 383 с.
5. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества: технология и свойства: учебник для вузов / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, В. С. Колокольников. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.

Рукопись поступила в редакцию 10.04.12

УДК 622.112.4: 622.013.362

А.М. КУЗЬМЕНКО, д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «Национальный горный университет»
А.А. КОЗЛОВ, директор, А.В. ХЕЙЛО зам. директора, ООО «Краснолиманское»

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ЗОН В ДЛИННЫХ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБАХ ВПЕРЕДИ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Рассмотрены различные формы образования техногенных зон вокруг горных выработок, находящихся в выемочных полях на пути подвигания очистных забоев и распределение напряжений при приближении зон опорного давления.

Введение. Угольная промышленность Украины остается основным поставщиком энергетического сырья для многих отраслей промышленности, и еще долгие годы будет обеспечивать ее независимость от внешних источников энергии. Возросшая конкуренция на энергетическом рынке требует снижения затрат на добычу угля из тонких угольных пластов, а это возможно только при интенсификации горных работ и принятии новых технологий подземной разработки угольных пластов.

В настоящее время на угольных шахтах Донбасса использование имеющегося ресурса очистных механизированных комплексов сдерживается природными и техногенными образованиями структур вмещающих пород. Большинство лав, оборудованных очистными механизированными комплексами нового технического уровня, работают на тонких пластах в сложных условиях. Эти комплексы имеют большой машинный ресурс, и эффективность их применения зависит от размеров выемочного столба и технологичности в подготовке запасов к очистной выемке. Обладая высоким энергоресурсом, современное высокоэффективное горное оборудование требует принятие новых планировочных решений.

Проблема и ее связь с техническими задачами. Для эффективного применения интенсификации технологии очистной выемки и использования полного ресурса очистного механизированного комплекса требуется увеличение размеров выемочных полей. Это неизбежно приводит в отдельных случаях к пересечению ранее пройденных подготовительных выработок (уклонов, ходков). Эти выработки были проведены ранее при делении шахтного поля на панели с размерами крыльев, которые отвечали уровню развития технологии и средств механизации в прошлом времени.