

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ЗАКЛАДЧОГО МАССИВА НА ЕГО ПРОЧНОСТЬ

Наведені дослідження структурних особливостей закладного масиву та на- дана оцінка впливу на його міцність. Встановлена залежність зміни хімічного складу новоутворених речовин у структурі закладного масиву від величини питомої поверхні в'язучого матеріалу.

Представлены исследования структурных особенностей закладочного мас- сива и дана оценка их влияния на прочность. Установлена зависимость из- менения химического состава новообразованных веществ в структуре за- кладки от величины удельной поверхности частиц вяжущего материала.

Investigations results of structural features of backfill massif and assessment of their influence on strength are given. Dependence of chemical composition change of neogenic substances in backfill structure on quantity of specific particle surface of cementing material is established.

Введение

При добыче богатых крутопадающих залежей руд распространение получила камерная система разработки с твердеющей закладкой. Порядок отработки камер, как правило, в две очереди. Качество выемки запасов из камер второй очереди находится в прямой зависимости от устойчивости обнажений искусственного массива первой очереди. Так при содержании в руде 1,3% окиси кальция осыпавшейся за- кладки содержание железа составляет 62%, при 0,2% CaO содержание возрастает до 67,5% [1]. Основными формами разрушения закладочного массива являются вы- валы с днищ вышележащих камер, а также с боков соседних заложённых камер.

Среди главных причин, влияющих на разрушения искусственных целиков мож- но выделить физические и химические. Физические причины заключаются в интен- сивном проявлении горного давления, сейсмическом воздействии буровзрывных работ, слоистость закладочного массива, перебур скважин в закладочный массив. Химические причины заключаются в формировании определенных структур в за- кладочном массиве, форма и химический состав которых не обеспечивают прочные внутренние связи. Акцентируем внимание на данном виде причин, так как физиче- ским причинам посвящено достаточно большое количество исследований. Химиче- ские причины разрушения при системах разработки с закладкой недостаточно изу- чены. Отсутствуют исследования по влиянию структуры закладочного массива на его прочность.

Основная часть

Исследование различных видов структур закладочного массива и оценка их влияния на прочность проводилось на примере состава твердеющей закладки, применяемого на Запорожском железорудном комбинате (ЗЖРК). Состав закладочной смеси следующий: доменный гранулированный шлак – 18,1%, флюсовый известняк – 47,5%, порода – 16,3%, вода – 18,1%. Тонкость измельчения шлака в шаровой мельнице составляет 50-60% частиц класса – 0,074 мм, что соответствует удельной поверхности порядка 2000 см²/г.

Нами проведены исследования влияния удельной поверхности частиц вяжущего материала на прочность твердеющей закладки [2, 3]. В результате исследования причин роста прочности обнаружен ряд структурных особенностей новообразований твердеющей закладки при различной величине удельной поверхности шлака и известняка, отличающихся, формой, химическим составом и степенью влияния на прочность. Новые вещества называют гидросиликатами кальция, образующиеся в процессе гидратации минералов доменного шлака.

Исследования структуры твердеющей закладки проводили на растровом электронном микроскопе РЕММА–102-02 со встроенным микроанализатором.

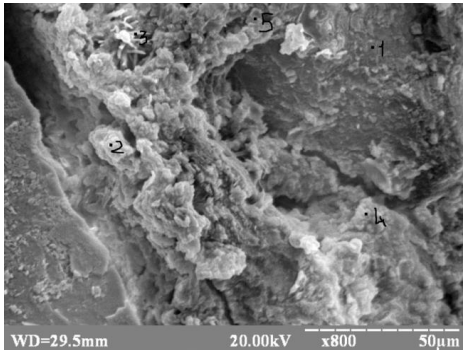
В результате исследования получены микрофотографии структуры исследуемых образцов закладки разной удельной поверхности, которые представлены на рис. 1. Под фотографиями отмечено во сколько раз увеличивается прочность закладки при данной структуре в зависимости от соотношения «вяжущее-заполнитель» в пределе 1:1,2-1:4. Проведем анализ структурных особенностей исследованных образцов закладки по микрофотографиям.

Образец твердеющей закладки (ЗЖРК) при удельной поверхности доменного шлака 2000 см²/г. Образец твердеющей закладки исследован после 3 месяцев твердения. Из рис. 1 *а* видно, что 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. Исследование образца (рис. 1, *б*) позволило установить структурные изменения, связанные с появлением сростков игольчатой формы, а также присутствие гидросиликатного геля округлой, пирамидальной и многогранной формы.

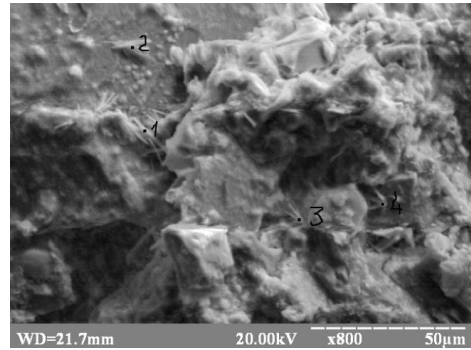
Образец твердеющей закладки при удельной поверхности доменного шлака и известняка 4300 см²/г. В структуре данного образца (рис. 1, *в*) наблюдается четко выраженная сформированная игольчато-волоконистая и остроугольная форма гидросиликатов кальция, наблюдается плотное распределение частиц в отношении друг к другу, меньшая пористость, полное покрытие зерен инертного заполнителя гидратными образованиями. Это приводит к повышению силы сцепления кристаллических новообразований с инертным заполнителем и повышает сопротивляемость связей нагрузкам. При этом замечен переход от округлой к остроугольной формы новообразований.

а)



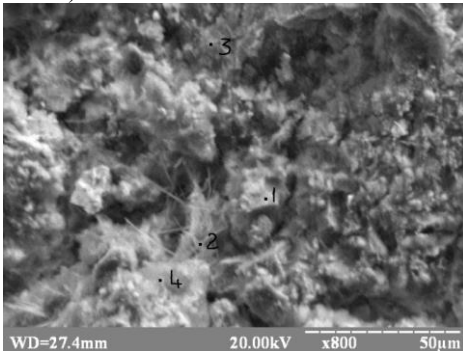
Традиційний закладочний масив

б)



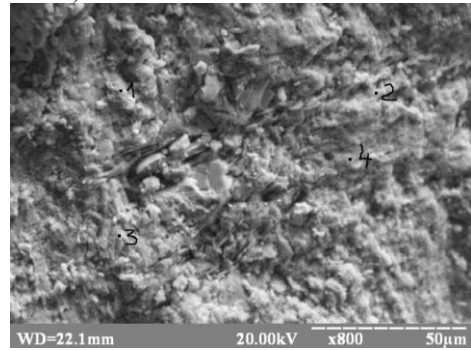
Увеличение прочности в 1,8-2,5 раза

в)



Увеличение прочности в 3,1-3,5 раза

г)



Увеличение прочности в 3,1-4,5 раза

Рис. 1. Структура закладочного камня: а) ЗЖРК ($S_{\text{оа}} = 2000 \text{ см}^2/\text{г}$);

б) экспериментальный состав ($S_{\text{оа}} = 2800 \text{ см}^2/\text{г}$);

в) экспериментальный состав ($S_{\text{оа}} = 4300 \text{ см}^2/\text{г}$);

г) экспериментальный состав ($S_{\text{оа}} = 6600 \text{ см}^2/\text{г}$)

Образец твердеющей закладки при удельной поверхности доменного шлака и известняка $6600 \text{ см}^2/\text{г}$. Исследование образца показало плотное прилегание частиц друг к другу, практически отсутствуют поры (рис. 1, г). Форма новообразований мелкокристаллическая, слоисто-пластинчатая. Игольчатая форма гидросиликатов кальция не формируется вследствие отсутствия пор и полостей в структуре, необходимых для роста кристаллов.

Из рисунка 1 видно, что структура твердеющей закладки изменяется с повыше-

нием дисперсности шлака и известняка в направлении уменьшения размеров кристаллических новообразований. Таким образом, установлено структурное изменение формы и состава кристаллических новообразований с увеличением удельной поверхности в составе твердеющей закладки.

На прочность твердеющей закладки оказывает влияние соотношение CaO/SiO_2 в структурных связях. При $CaO/SiO_2 \geq 1,5$ формируются высокоосновные гидросиликаты кальция, при $CaO/SiO_2 \leq 1,5$ – низкоосновные. Наибольшую

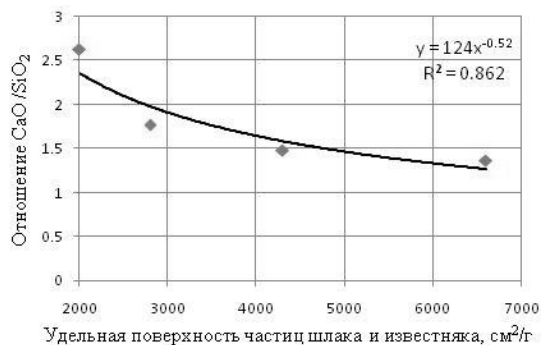
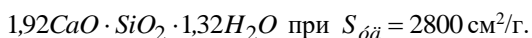
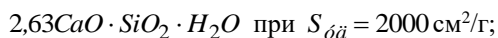


Рис. 2. Зависимость основности связей от величины удельной поверхности

было замечено, что величина основности заметно снижается с увеличением удельной поверхности частиц шлака и известняка. Обработка данных замеров CaO и SiO_2 позволила установить зависимость основности связей закладочного массива от величины удельной поверхности частиц, которая представлена на рисунке 2.

Рисунок 2 показывает, что величина основности структурных связей твердеющей закладки выражается степенной зависимостью от площади удельной поверхности шлака и известняка эмпирическим уравнением $y = 124x^{-0,52}$ при $R = 0.862$. Характер зависимости показывает наибольшее снижение основности а, следовательно и повышение прочности гидросиликатов кальция в диапазоне 2000-4300 см²/г. После величины 4300 см²/г снижение основности происходит менее динамично. Учитывая данный факт при увеличении удельной поверхности в составе закладочной смеси нет необходимости размалывать шлак и известняк до высоких показателей дисперсности, что влечет за собой энергосбережение при измельчении.

По данным замеров CaO и SiO_2 в экспериментальных закладочных смесях при различной степени дисперсности шлака и известняка, используя положения вывода истинных формул сформированные гидросиликаты кальция можно описать следующими формулами:



прочность имеют кристаллы низкоосновных гидросиликатов кальция. Следовательно, одним из путей создания прочного закладочного массива является формирование гидросиликатов кальция с основностью CaO/SiO_2 близким к 1.

Для установления типа основности гидросиликатов кальция в структуре закладочного массива были произведены замеры содержания оксидов CaO и SiO_2 с помощью микрорентгеноспектрального анализатора. В ходе выполнения замеров

$1,44CaO \cdot SiO_2 \cdot 1,76H_2O$ при $S_{\text{дв}} = 4300 \text{ см}^2/\text{г}$;

$1,38CaO \cdot SiO_2 \cdot 2,02H_2O$ при $S_{\text{дв}} = 6600 \text{ см}^2/\text{г}$.

Содержание структурной воды в гидросиликатах кальция не превышает 17%.

Для исследования влияния процесса транспортирования и возведения на изменение структуры закладочного массива проведены исследования лабораторного образца твердеющей закладки, приготовленного непосредственно перед подачей в подземное пространство и образца разрушенного закладочного массива камеры 4/1с этажа 775-825 м.

На рисунке 3, а гидросиликаты кальция представлены в виде гелеобразной массы, округлой формы. В шахтном образце (рис. 3, б) сохраняется округлая форма гидросиликатов кальция, однако отсутствуют формы геля, так как степень закристаллизованности более высокая, чем в лабораторном образце, о чем говорит снижение основности с 2,68 до 1,8. Это связано с более продолжительным возрастом твердения. Следовательно, можно сделать вывод о том, что технологические процессы закладочных работ кардинально не влияют на структуру твердеющей закладки. Влияние оказывают дисперсность и химический состав вяжущих материалов.

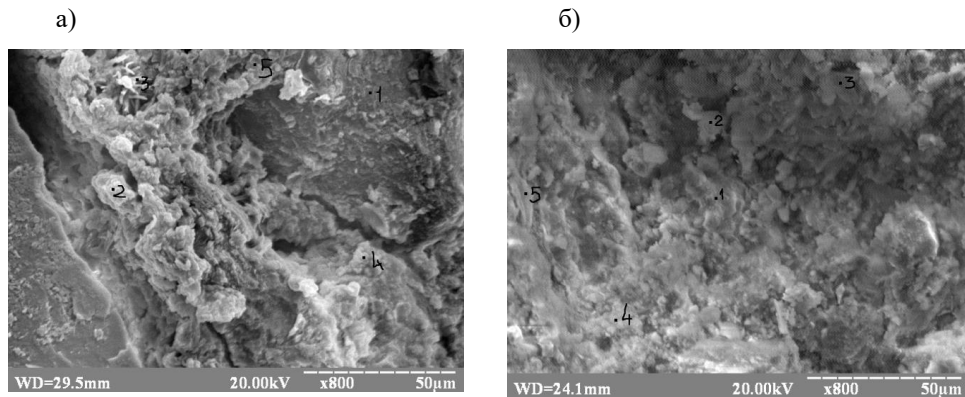


Рис. 3. Сравнение структурных особенностей образцов закладки:
 а) лабораторный (возраст 3 месяца, $CaO/SiO_2 = 2,68$);
 б) шахтный (возраст 6 месяцев, $CaO/SiO_2 = 1,8$)

Установленные структурные формы закладочного массива могут быть использованы для повышения его устойчивости. Закладочный массив, содержащий в своей структуре игольчато-волокнитые связи наиболее устойчив к растяжению. 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 образуется при удельной поверхности доменного шлака свыше $4000 \text{ см}^2/\text{г}$.

При воздействии сжимающих напряжений, наиболее эффективно использовать твердеющую закладку со слоистой структурой новообразований. Горизонтальное расположение слоисто-пластинчатых гидросиликатов кальция в структуре закладки повышает сопротивляемость искусственного массива к сжатию. Данная структура достигается при удельной поверхности доменного гранулированного шлака и известняка свыше 6000 см²/г. В результате вышеописанного появляется возможность управления структурой закладочного массива.

На основании результатов исследования структурных и прочностных особенностей закладочного массива могут быть разработаны технологические параметры заполнения выработанного пространства – режим заполнения камеры, состав и прочность закладки, рациональная величина дисперсности вяжущего материала.

Выводы

1. С увеличением удельной поверхности вяжущего материала происходит изменение структуры закладочного массива в направлении уменьшения размеров кристаллических новообразований. Дана характеристика и оценка влияния различных структур на прочность искусственного массива.

2. Установлена степенная зависимость основности связей от величины удельной поверхности, которая описывается уравнением $\delta = 124x^{-0,52}$. По мере увеличения удельной поверхности частиц вяжущего материала происходит снижение основности химических структур, высокоосновные гидросиликаты кальция переходят в низкоосновные. Это приводит к возрастанию прочности закладки в 1,8-4,5 раза при соотношения «вяжущее-заполнитель» от 1:12 до 1:4.

3. Доказано, что транспортирование и возведение закладочного массива не оказывают влияния на конечную структуру искусственного массива.

Список литературы

1. Малый, А.Н. Определение разубоживания руды твердеющей закладкой при обработке железорудных месторождений [Текст] / А.Н. Малый, В.К. Щедрик, Г.Н. Кущенко // Горный журнал. – 1977. – № 5. – С. 34-35.

2. Петлеваный, М.В. Влияние дисперсности закладочных материалов на структурные особенности закладочного массива при подземной добыче руд. Геотехническая механика [Текст]: межвед. сб. науч. трудов / М.В. Петлеваный. – Днепропетровск: ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – 2011. – Вып. 94. – С. 168-173.

3. Кузьменко, А.М. О механической активации компонентов твердеющей закладки для заполнения выработанного пространства рудников [Текст] / А.М. Кузьменко, Л.Ж. Горобец, Н.С. Прядко, М.В. Петлеваный, В.Ю. Усатый. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 3. – С. 75-78.