

**ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ЗАКЛАДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ РУД**

Наведені результати дослідження впливу дисперсних часток доменного гранульованого шлаку та доломіту на структурні особливості та міцність закладного масиву при розробці залізних руд системами з твердіючим закладанням.

**INFLUENCE OF DISPERSION BACKFILL OF MATERIALS ON STRUCTURAL FEATURES OF BACKFILL MASSIF DURING UNDERGROUND ORES EXTRACTION**

Results of research of disperse particles influence of the domain granulated slag and dolomite on structural features and strength backfill massif while developing iron ores by the systems with a hardening backfill are given.

**Введение.** Подземная разработка залежи «Главная» Южно-Белозерского месторождения богатых железных руд осуществляется Запорожским железорудным комбинатом (ЗЖРК) в сложных гидрогеологических условиях с применением камерной системы разработки с твердеющей закладкой. Компонентами твердеющей закладки являются доменный гранулированный шлак (вяжущий материал), доломиты с добавлением породы (инертный заполнитель). На глубине разработки 640 - 840 м имеют место обрушения и вывалы закладочного массива в очистное пространство, что приводит к снижению устойчивости искусственных целиков и разубоживанию руды. Это связано по всей вероятности с интенсивным проявлением горного давления и сейсмическим воздействием массового взрыва на искусственный массив. Одним из путей повышения прочности закладки является механическая активация вяжущего и инертного материала. Применение упрочненной закладки для заполнения выработанного пространства требует изучения механизма влияния тонкодисперсных частиц на структуру и прочность затвердевшего массива.

**Суть вопроса.** Широкое применение систем разработки с твердеющей закладкой ограничивает высокая стоимость закладочных работ, в частности затраты на вяжущий материал и его измельчение. Применяемая на рудниках тонкость измельчения доменного шлака до 50 - 60 % остатка частиц на сите - 0,074 мм не обеспечивает полного вовлечения частиц в процесс гидратации и формирования искусственного камня. Более качественное измельчение шлаков приведет к сокращению их расхода в закладочной смеси и возрастанию прочности. Достижение высокой дисперсности закладочных материалов при определенном их соотношении позволит получать высокую прочность закладки, что является важным технологическим параметром при добыче руды на больших глубинах и безопасности горных работ.

**Цель работы** – изучить влияние дисперсности закладочных материалов

на структурные особенности и прочность закладочного массива при подземной добыче руд.

**Основная часть.** Для приготовления твердеющей закладки на ЗЖРК шлак измельчается до 50 – 60 % остатка частиц на сите - 0,074 мм, добавляется доломит флюсовый крупностью до 5 мм, дробленные породы крупностью до 20 мм и производится затворение водой. С целью исследования влияния удельной поверхности на свойства закладочных смесей доменный гранулированный шлак и доломит флюсовый были подвержены механическому измельчению в лабораторной установке струйного измельчения УСИ – 20 до удельной поверхности 2800, 4300 и 6600 см<sup>2</sup>/г. Удельная поверхность частиц измельченного шлака, получаемая при измельчении в шаровых мельницах закладочного комплекса, составляет 2000 см<sup>2</sup>/г при 57% остатке на сите - 0,074 мм. Значения удельной поверхности определялись на приборе В.В. Товарова.

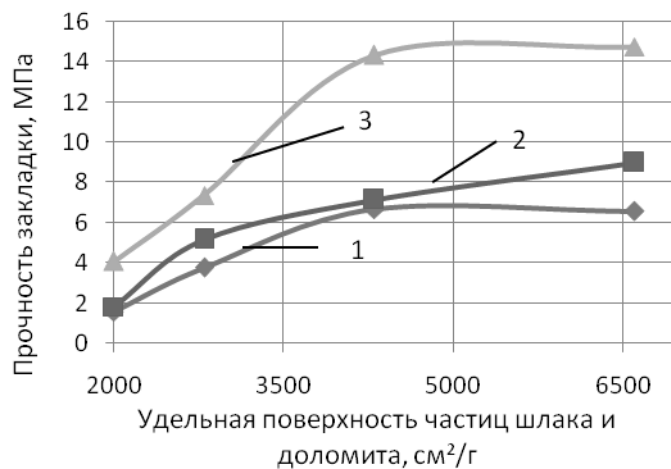
В лаборатории закладочного комплекса было испытано 12 составов закладочных смесей при расходе измельченного шлака 100, 200, 300 кг/м<sup>3</sup> и удельной поверхности 2000, 2800, 4300, 6600 см<sup>2</sup>/г. Согласно [1] в каждый экспериментальный состав твердеющей закладки добавлялся измельченный доломит с удельной поверхностью, аналогичной шлаку в количестве 50 % от доли шлака. При расходе воды 400 л на 1 м<sup>3</sup> предельное напряжение сдвига экспериментальных закладочных смесей не превышало 10 кг/см<sup>2</sup>, подвижность находилась в пределах 11,3 – 11,6 см. Время потери подвижности закладочных смесей находится в пределах 13 – 14 часов. Полагаем, что транспортабельные свойства закладочных смесей удовлетворяют технологии ведения закладочных работ.

По истечению 30 дней образцы экспериментальных закладочных смесей были испытаны с помощью гидравлического пресса ПСУ - 100 на одноосное сжатие. На рис.1 показаны моменты разрушения образцов твердеющей закладки, где видно, что при потере прочности происходит боковое отслоение массы закладки при этом можно предположить, что подобные разрушения происходят в пределах слоя закладочного массива камер с повышением горного давления.



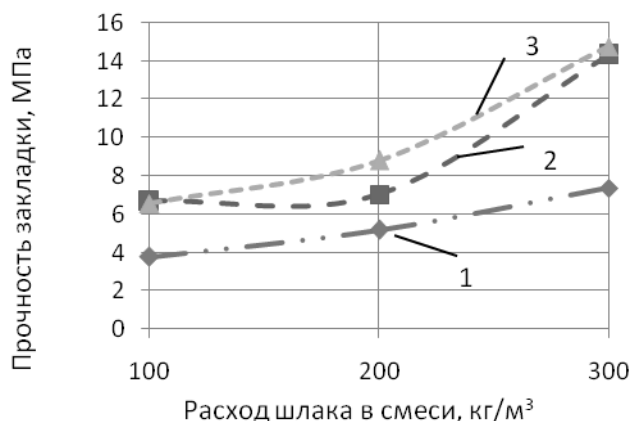
Рис.1 - Форма разрушения образцов твердеющей закладки

Обработка экспериментальных данных позволила установить зависимости прочности закладки от величины удельной поверхности и расхода шлака и доломита в закладочной смеси, приведенные на рис. 2



1 – расход шлака в смеси 100 кг/м<sup>3</sup>; 2 – расхода шлака в смеси 200 кг/м<sup>3</sup>; 3 - расхода шлака в смеси 300 кг/м<sup>3</sup>

Рис. 2 - Зависимость прочности закладки от удельной поверхности шлака и доломита:



1 – при удельной поверхности 2800 см<sup>2</sup>/г; 2 – при удельной поверхности 4300 см<sup>2</sup>/г; 3 - при удельной поверхности 6600 см<sup>2</sup>/г

Рис. 3 - Зависимость прочности закладки от расхода шлака и доломита

Приведенные зависимости рис. 2, 3 позволяют выбирать состав твердеющей закладки при необходимой прочности. Отличительной особенностью предлагаемых составов твердеющей закладки является то, что по истечению 1 месяца твердения закладки достигаются высокие показатели прочности, которые могут использоваться при заполнении днища камер и перемычек выработок поэтажных горизонтов. При этом согласно [2], прочность твердеющей закладки в возрасте 1 месяца соответствует прочности в шахтных условиях. Так, например, для создания закладочного массива прочностью 8 МПа при сроке твердения 1 месяц согласно рис. 3 достаточно добавлять в 1 м<sup>3</sup> закладочной смеси измельченных 180 кг шлака и 90 кг доломита с удельной поверхностью  $S_{уд} = 6600 \text{ см}^2/\text{г}$ , 1070 кг доломита крупностью до 5 мм и 470 кг

дробленных отвальных пород крупностью до 20 мм, либо 220 кг шлака и 110 кг доломита с удельной поверхностью  $S_{уд} = 4300 \text{ см}^2/\text{г}$ , 995 кг доломита, 417 кг дробленных пород. Критерием выбора состава будет являться стоимость компонентов закладки и энергетические затраты на измельчение.

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, позволяющий проводить микрорентгеноспектральный полуколичественный анализ вещества. После испытания на прочность для исследования отобраны образец твердеющей закладки, применяемый на ЗЖРК, с удельной поверхностью шлака  $S_{уд} = 2000 \text{ см}^2/\text{г}$  и образец экспериментального состава с удельной поверхностью  $S_{уд} = 4300 \text{ см}^2/\text{г}$ . Исследованы изломы образцов в местах контакта вяжущего материала с инертным заполнителем.

Микрофотографии структуры исследуемых образцов представлены на рис. 4, 5. При формировании структуры цементного камня высокую прочность твердеющей системе обеспечивают гидросиликаты кальция игольчатой и волокнистой формы. В возрасте 3 месяцев в твердеющей закладке, применяемой на ЗЖРК, практически отсутствуют подобные формы. Гидросиликаты кальция представлены округлой и пластинчатой формой и находятся в гелеобразном состоянии.

Лишь в точке 3 (рис.4) наблюдается начальный рост игольчато-волоконистых образований. Следовательно, можно предположить, что одной из причин слабой устойчивости искусственного массива при воздействии горного давления и сейсмических волн является отсутствие в структуре закладки к трехмесячному возрасту прочных связей гидросиликатов кальция, которые начинают формироваться к более позднему сроку. Об этом свидетельствуют показатели высокой прочности некоторых образцов в возрасте 9 месяцев (9-13 МПа). В структуре также наблюдаются поровые пространства, что приводит к снижению прочности.

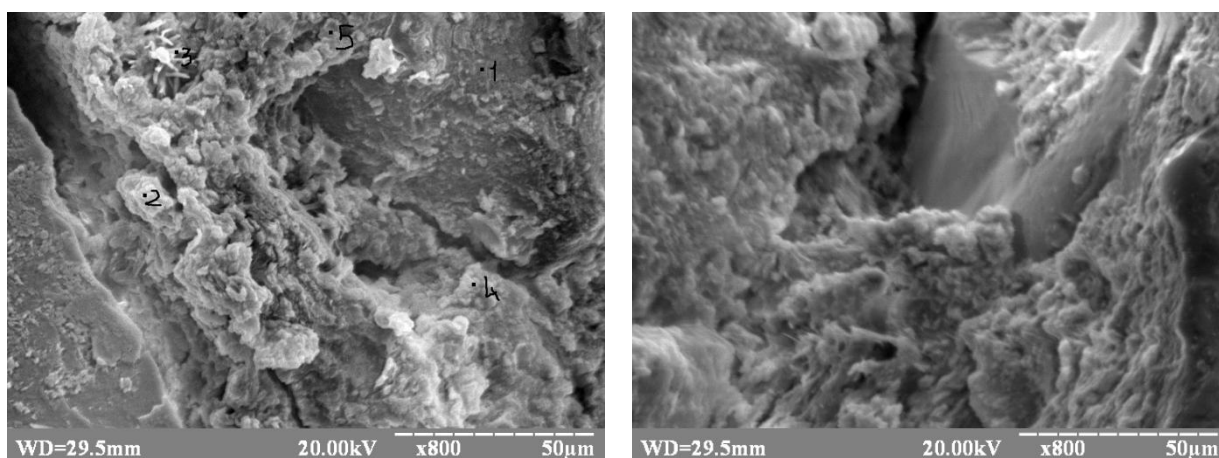


Рис.4 - Микрофотографии структуры твердеющей закладки, применяемой на ЗЖРК ( $S_{уд} = 2000 \text{ см}^2/\text{г}$ ,  $R_{сж} = 5,5 \text{ МПа}$ )

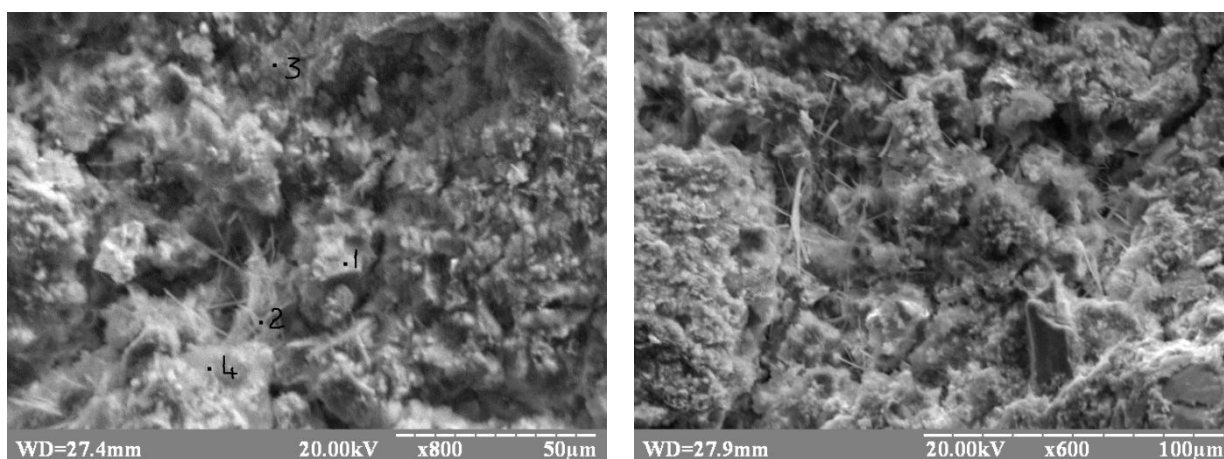


Рис.5 - Микрофотографии структуры экспериментальной твердеющей закладки ( $S_{уд} = 4300 \text{ см}^2/\text{г}$ )

Стоит отметить переход структуры гидросиликатных связей исследуемых образцов от округлой к игольчато-волокнуистой с увеличением дисперсности шлака и доломита. При игольчато-волокнуистой форме связей происходит армировка и упрочнение твердеющего камня.

Прочность связей зависит от их основности, а именно соотношения  $CaO/SiO_2$ . 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  $SiO_2$  в гидросиликатах кальция (Рис.4, 5 точки 2,3,4,5). В таблице 1 приведены показатели основности гидросиликатов кальция в исследуемых образцах.

Таблица 1 – Основность гидросиликатов кальция в исследуемых образцах закладки

Выбранные точки	Отношение $CaO/SiO_2$	
	Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$	
	2000 (ЗЖРК)	4300
2	2,19	2,06
3	1,97	1,09
4	1,86	1,28
5	4,53	-

По данным табл. 1, видно, что связи гидросиликатов кальция при удельной поверхности  $2000 \text{ см}^2/\text{г}$  имеют отношение  $CaO/SiO_2 \geq 1,5$ , что указывает на их высокоосновность, а при  $4300 \text{ см}^2/\text{г}$  отношение  $CaO/SiO_2 \leq 1,5$ , что ближе по значению к низкоосновным гидросиликатам кальция. Можно предположить, что увеличение дисперсности закладочных материалов кроме плотного прилегания частиц друг к другу и полного участия их в процессе гидратации влияет также на основность гидросиликатных связей упрочняющим эффектом.

## **Выводы**

При увеличении удельной поверхности шлака и доломита с 2000 до 6000 см<sup>2</sup>/г происходят структурные изменения в закладочном массиве, связанные с переходом формы связей гидросиликатов кальция от округлой к игольчато – волокнистой, при этом их основность снижается, что приводит к упрочнению твердеющей закладки в 3,1 – 4,5 раза (в зависимости от расхода шлака) и снижению срока набора нормативной прочности в 3 раза, что позволит достичь устойчивости вертикальных обнажений и интенсифицировать процесс подготовки новых камер к эксплуатации.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кузьменко А.М. Петлеваный 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.
2. Мясников К.В., Руденко В.В. Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. М.: Недра, 1964г. - 121с.