

А.М. Кузьменко, д.т.н., проф.,
М.В. Петлеваный, асп.
(Национальный горный университет),
Е.П. Чистяков, зав. лаб., к.т.н.,
С.А. Кулиш, ст. научн. сотр.
(ГП «НИГРИ»),
А.Н. Зубко, заместитель председателя правления,
В.Ю. Усатый, технический директор,
А.В. Сахно, нач. закл. цеха
(ЗАО «Запорожский железорудный комбинат»)

К ВОПРОСУ ПОДБОРА СОСТАВА ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКИ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

У статті проаналізовано особливості застосування різних складів закладної суміші з початку функціонування закладного комплексу комбінату. Наведені результати дослідження експериментальних складів закладної суміші твердуючої закладки для Південно-Білозерського родовища залізних руд.

TO THE QUESTION OF SELECTION FILLING MIXTURE COMPOSITION OF EXTRA STRONG.

The peculiarities of application of different consolidating stowing compositions from the beginning of the plant filling section functioning are analyzed. The results of research of experimental consolidating stowing composition for South – Berlozersk iron orefield are given.

ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» разрабатывает Южно-Белозерское месторождение богатых железных руд в сложных горно-геологических условиях с применением твердеющей закладки. Горно-геологические условия месторождения характеризуются исключительной сложностью, обусловленные наличием 8 водоносных горизонтов, залегающих над рудно-кристаллическим массивом, а также обводненностью самого полезного ископаемого. Для таких условий системы разработки с твердеющей закладкой являются высокопрогрессивными.

В настоящее время горно-подготовительные работы ведутся на горизонте 940 м, а очистные работы в этажах 640-740 м и 740-840 м. Разработка месторождения планируется до отметки 1500 м. С увеличением глубины разработки месторождения повышается интенсивность проявления горного давления. К тому же стоимость компонентов для приготовления закладки значительно возросла. Поэтому увеличение прочности закладочного массива, путем подбора рационального состава закладочной смеси, который удовлетворял бы технологическим, природоохранным и экономическим требованиям является актуальным вопросом для производства.

Целью работы является подбор состава закладочной смеси твердеющей закладки, удовлетворяющего технологическим и экономическим требованиям.

Идея работы состоит в снижении расхода дорогостоящего вяжущего путем добавления в его состав молотого флюсового доломита.

До ввода в эксплуатацию закладочного комплекса (1970 г.) были осуществлены попытки ведения закладочных работ на комбинате по скважине 8р с целью отработки технологии спуска закладочной смеси по скважине и подбора состава смеси. На первых порах на комбинате использовалась шлакопесчаная закладка (доменный шлак, положский песок, цемент М-400, вода). Но из-за её невысокой прочности, в пределах $2,5 \div 4$ МПа, и низкой устойчивости, что приводило к обрушению бортов ранее заложенных камер при отработке прилегающих камер второй и третьей очередей, и как следствие, увеличению разубоживания руды и повышенному засорению её закладкой. А так как закладка это 60 % песка (минерал SiO_2), то необходимы дополнительные затраты природного газа и кокса в доменном производстве. Поэтому в 1982 году было принято решение о проведении промышленного эксперимента по закладке камеры 2/34с этажа 325 ÷ 400 м шлако-известняковой закладкой с использованием в качестве наполнителя флюсов Балаклавского рудоуправления. Цемент марки 400 добавлялся только при прохождении буровых ортов подэтажных горизонтов в незначительных количествах. При испытании образцов твердеющей закладки трехмесячного возраста на одноосное сжатие, в лаборатории закладочного комплекса, были получены хорошие результаты. Прочность образцов составила от 6 до 9 МПа. Затем были выбурены керны из массива заложенной камеры 2/34с, при испытании образцов, изготовленных из этого керна, прочность их также возросла по сравнению со шлакопесчаной смесью в 1,5 раза. В это же время были залиты образцы с добавлением известняков флюсовых Докучаевского флюсо-доломитного комбината и рудного шлама от бурения станками НКР-100. Результаты испытания образцов были положительные, прочность образцов также была в пределах от 5 до 8 МПа. На протяжении ряда лет вплоть до 2001 года на комбинате применялась шлако-доломитная закладка. В 2001 году работниками комбината совместно с сотрудниками НИГРИ было предложено в качестве инертного наполнителя использовать породу от проходки горных выработок в шахте и породу из отвала, предварительно дробленную до необходимого гранулометрического состава. На сегодняшний день до 480 тыс. тонн породы в год используется в качестве наполнителя при закладке выработанного пространства очистных камер на комбинате. Поэтому с 2001 года и до настоящего времени, применяется закладочная смесь следующего состава: гранулированный шлак, отсев доломита (флюса), дробленые горные породы, вода. Но в связи с постепенным удорожанием основного вяжущего компонента твердеющей закладки - доменного гранулированного шлака, остается открытым вопрос о замене его более дешевым вяжущим, либо уменьшении его количества в составе смеси.

Исследования составов твердеющей закладки выполнены НИГРИ с участием авторов работы. Была приготовлена закладочная смесь (табл.1), применяемая в настоящее время, и ряд новых экспериментальных составов.

Таблица 1 - Компонентный состав закладочной смеси, применяемый на ЗЖРК

Наименование компонентов	Содержание компонентов в 1 м ³ закладочной смеси, %	Прочность закладки в возрасте 1мес, МПа
Вода, л	18,1	3,48
Доменный гранулированный шлак, тонк. пом. не менее 55 % част. 0,074 мм	18,1	
Доломит(флюс)	47,5	
Измельченные горные породы крупностью до 20 мм	16,3	

Химический состав доменного гранулированного шлака и известняков Докучаевска приведен в табл. 2-3.

Таблица 2 - Химический состав гранулированного шлака (%)

CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃
47,8	7,0	40	1,95	0,68 - 5,2	0,26 - 2,26

Таблица 3 - Химический состав разных марок известняков (%)

Марка	Fe _{общ}	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO
Известняк флюсовый обычный	0,54	0,63	2,16	0,70	0,13	47,55	6,51
Известняк флюсовый доломитизированный	0,44	0,40	1,4	0,49	0,20	36,11	16,42
Доломит флюсовый	0,59	0,54	4,56	1,16	0,27	51,66	1,97
Известняк флюсовый Балаклавского рудоуправления	0,72	0,56	1,32	0,41	0,43	35,45	17,10

Диаграмма распределения химических соединений состава закладочной смеси, применяемой для закладки камер, приведена на рис. 1

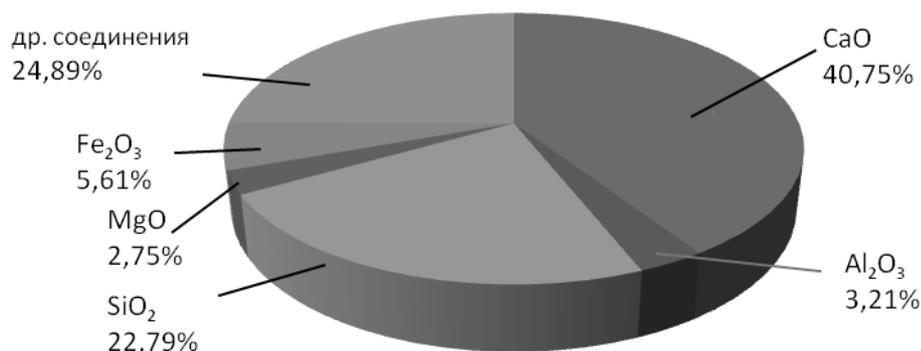


Рис. 1 - Диаграмма распределения химических соединений состава закладочной смеси, применяемой в технологическом цикле ЗЖРК

В качестве вяжущих компонентов исследовались доменный гранулированный шлак («Запорожсталь»), известняк флюсовый обычный, известняк флюсовый доломитизированный, доломит флюсовый (все «Докучаевский флюсо - доломитный комбинат»), известняк флюсовый (Балаклавское рудоуправление). Тонкость помола всех вяжущих составляла не менее 55 % частиц крупностью 0,074 мм. Инертными заполнителями являлись измельченная горная порода отвала крупностью до 20 мм и доломитный отсев.

Материалы для закладки засыпались в емкость и перемешивались с добавлением воды. Для приготовления закладочной смеси использовались следующие приборы: большие и малые весы, вибростол для рассеивания горной породы по фракциям, лабораторная шаровая мельница, печь для осушения материалов. Впоследствии приготовленные закладочные смеси исследовались на подвижность и предельное напряжение сдвига с помощью конуса СтройЦНИЛА и прибора Штернбека. Осадка конуса должна находиться в пределах 10-12 см, напряжение сдвига не более 20 кгс/см² [1]. Соблюдение этих параметров обеспечит качественный режим транспортирования. После чего закладочные смеси разливались по формам и испытывались на одноосное сжатие через 30 дней. Образцы твердеющей закладки, для имитации шахтной среды, хранились во влажных опилках.

Результаты измерения параметров смесей находятся в следующих пределах: подвижность 9,5-11,5 см, предельное напряжение сдвига 7,3-23,3 кгс/см². Количество воды для этих показателей является определяющим фактором. Результат испытания образцов закладки показал, что наибольшей прочностью в пределах 3-4,5 МПа (в зависимости от соотношения компонентов) обладает закладочная смесь состава: шлак - молотый флюсовый доломит - измельченная горная порода - доломитный отсев. Закладочные смеси с применением портландцемента в качестве вяжущего имеют прочность 6-8 МПа. Но последние экономически невыгодны, потому что себестоимость 1 м³ закладки на 40-50 % выше стоимости 1 м³ закладочной смеси, применяемой в технологическом процессе комбината. Закладочные смеси с использованием сухой золы и золошлака имеют очень низкую прочность в пределах 0,2-1 МПа. Причиной является присутствие в этих материалах большого количества кремнезема (SiO₂). Частицы SiO₂ негативно воздействуют на процесс связывания компонентов закладки, а, следовательно, и на ее прочность. Прочность закладочной смеси, применяемой на ЗЖРК, составила 3,48 МПа.

Анализируя проведенные исследования можно сделать вывод о том, что для приготовления состава закладочной смеси лучше использовать марку известняка - доломит флюсовый. В химическом составе доломита содержится большее количество CaO и Al₂O₃ меньшее количество вредного компонента MgO (табл. 3), чем в других видах известняка. Чем больше содержится соединений в шлаке и известняке CaO и Al₂O₃, тем выше их вяжущая активность [2].

Соотношение CaO, Al₂O₃ и MgO в составе закладочной смеси является одним из факторов, влияющим на прочность закладочного массива. Учитывая

все эти особенности, был подобран состав закладочной смеси, удовлетворяющий технологическим, экономическим требованиям. Рекомендованный состав закладочной смеси приведен в табл.4.

Таблица 4 - Рекомендуемый компонентный состав закладочной смеси для ЗАО «ЗЖРК»

Наименование компонентов	Содержание компонентов в 1 м ³ закладки, %	Прочность закладки в возрасте 1мес, МПа
Доменный гранулированный шлак, тонк. пом. не менее 55 % част. 0.074 мм	14	4,46
Молотый доломитный отсев, тонк. пом. не менее 55 % част. 0.074 мм	9,4	
Доломитный отсев	40,2	
Измельченные горные породы крупностью до 20 мм	17,7	
Вода, л	18.7	

Диаграмма распределения химических соединений рекомендованной закладочной смеси представлена на рис.2

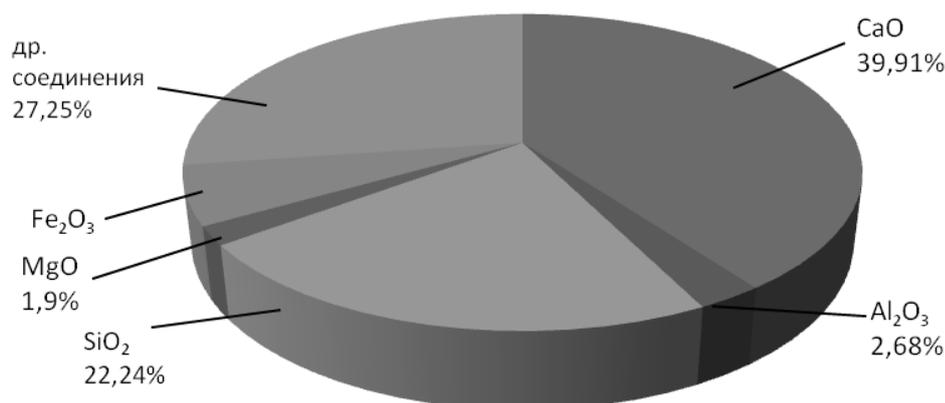


Рис. 2 - Диаграмма распределения химических соединений рекомендованной закладочной смеси

Сравнивая рис. 1 и рис. 2 можно пронаблюдать сходство химического состава закладочной смеси, применяемой на ЗЖРК, и рекомендованной. Поэтому влияние химических превращений на возрастание прочности закладки не учитывается. На возрастание прочности с 3,48 МПа до 4,46 МПа повлияло количественное соотношение молотых шлака и доломита флюсового тонкостью помола не менее 55 % частиц крупностью 0,074 мм в 1 м³ закладки. Физический смысл состоит в следующем: твердые частицы большей крупности располагаются на определенном расстоянии друг от друга, что приводит к увеличению пористости, и как следствие к снижению прочности закладки. Размер пор в закладочном материале может быть принят равным размеру мельчайших частиц. Закладочный материал, содержащий значительное число частиц размерами 0,074 мм содержит поры, размеры которых минимальны и

способны вызвать проявление капиллярных сил. Следовательно, закладочный материал, содержащий тонкоизмельченные частицы, стремится удерживать воду, что необходимо для наилучшего схватывания материалов. Частицы плотно прилегают друг другу, что обеспечивает достаточно высокую прочность закладки [3].

Зависимость прочности закладки от доли молотого доломита флюсового в составе вяжущего приведена на рис. 3.

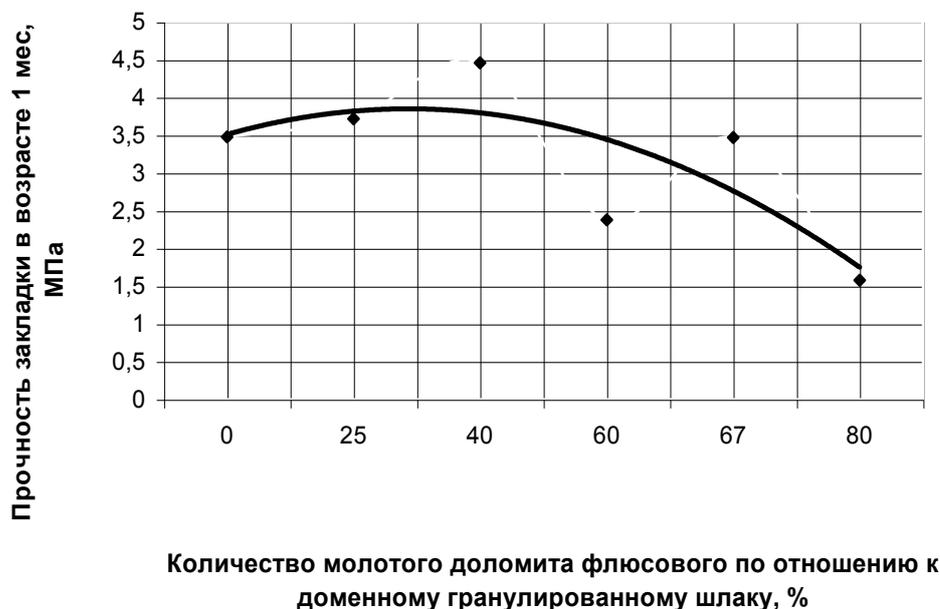


Рис. 3 – Зависимость прочности закладки от доли молотого доломита флюсового в составе вяжущего

Исследования показали (рис.3), что прочность закладки возрастает при добавлении молотого доломита флюсового в пределах 0-40 %, при содержании его > 40 % наблюдается снижение прочности. Следовательно, соотношение шлака и известняка влияет на прочность закладки. Необходимо, чтобы количество шлака было больше, так как он содержит в своем составе большее количество активизирующих соединений CaO и Al_2O_3 . Об этом свидетельствует низкая прочность закладки 1,7 МПа, где соотношение молотых шлака и доломита составляло 1:4. Молотый флюсовый доломит пригоден, прежде всего, как активизирующая добавка или микронаполнитель к основному вяжущему - доменному гранулированному шлаку.

Лабораторными исследованиями подтверждено проявление вяжущих свойств молотым доломитом, что дает возможность уменьшить расход дорогостоящего гранулированного шлака с 400 кг до 300 кг.

При сравнении закладочной смеси, применяемой на ЗЖРК, с рекомендованной смесью наблюдается увеличение прочности закладочного массива с 3,48 МПа до 4,46 МПа и уменьшение стоимости 1 м^3 на 13,4 %.

Данное направление совершенствования состава закладочной смеси требует более детального изучения поведения монолитного закладочного массива.

ва этого состава в подземных условиях.

Выводы.

1. Количество CaO, Al₂O₃ и MgO в составе закладочной смеси является одним из главных факторов, влияющим на прочностные свойства закладки. Варьируя этими показателями можно получить состав закладочной смеси требуемой прочности.

2. В качестве инертного наполнителя и микронаполнителя вяжущего наиболее предпочтительным видом известняка является доломит флюсовый. В составе доломита содержится большее количество CaO, Al₂O₃ и меньшее количество вредного компонента MgO, чем в других видах известняка.

3. Молотый доломит обладает вяжущими свойствами. Это дает возможность снизить расход дорогостоящего доменного гранулированного шлака с 400 кг до 300 кг.

4. Сравнивая закладочную смесь, применяемую на ЗЖРК, и рекомендованную смесь, очевидно, что наблюдается увеличение прочности закладочного массива с 3,48 МПа до 4,46 МПа и уменьшение стоимости 1 м³ закладки на 13,4 %.

5. Одним из факторов влияющим на прочность закладочного массива является соотношение вяжущих компонентов - молотых шлака и доломита в 1 м³ закладки тонкостью помола не менее 55 % частиц крупностью 0,074 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Типовая технологическая инструкция производства закладочных работ на горнорудных предприятиях Украины». - Кривой Рог, 1994. - 62 с.
2. Разработка месторождений полезных ископаемых с монолитной закладкой. Цыгалов М.Н., Зурков П.Э. М., Недра, 1970. - 176 с.
3. Хомяков В.И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. М., Недра, 1984. – 224 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. І.А. Ковалевською 24.07.09