

Петлеваний М.В., Кузьменко А.М. /д.т.н./,
Горобец Л.Ж. /д.т.н./, Прядко Н.С. /к.т.н./
ГВУЗ «Национальный горный университет»

Усатый В.Ю.
ЗАО «ЗЖРК»

О механическом измельчении компонентов твердеющей закладки для заполнения выработанного пространства рудников

Экспериментально установлено влияние способа измельчения и удельной поверхности измельченных частиц вяжущего материала на прочностные характеристики закладочного массива. Ил. 4. Табл. 2. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: измельчение, дисперсность, вяжущий материал, твердеющая закладка, прочность

The influence of grinding technique and specific surface of the binder crushed particles on strength characteristics of backfill components is determined experimentally.

Keywords: grinding, dispersion, cementing material, hardening backfill, strength

Постановка проблемы

При подземной добыче богатых руд системами разработки с твердеющей закладкой, залегающих в сложных горно-геологических условиях, значительную долю затрат (до 15-25 %) составляют закладочные работы [1, 2]. Использование твердеющей закладки для заполнения выработанных пространств обеспечивает высокое качество закладываемого массива. Вяжущими веществами служат цемент, металлургические шлаки, зола-унос ТЭС, ангидрит, гипс, туфы, цеолиты и др.; инертные материалы – песок, щебень, гравий, вскрышные породы, хвосты ОФ, породы от проходки выработок и др.; вода служит для транспортирования материалов в выработанное пространство и связывания их в единый искусственный монолитный массив.

В настоящее время рациональный подход к использованию отходов переработки полезных ископаемых в качестве вяжущих материалов для состава твердеющей закладки является важной научно-практической задачей для горнорудной промышленности. Понижение уровня ведения горных работ на рудниках, работающих с твердеющей закладкой, требует обоснованного подхода к составу твердеющей закладки, в частности, из-за удорожания компонентов закладки, с одной стороны, и возрастающего норматива прочности закладочного массива, обусловленного негативным проявлением горного давления на больших глубинах, с другой стороны.

В Украине разработку месторождений с применением твердеющей закладки осуществляет «Запорожский железорудный комбинат» (ЗЖРК) и ГП «ВостГОК». Годовой объем закладочных работ

для этих предприятий составляет, соответственно, 1 млн. м³ и 0,5 млн. м³ (для одного рудника).

Основное содержание работы

Закладочные работы на крупных рудниках характеризуются значительной масштабностью производства, что подтверждается годовым объемом закладочных материалов в размере сотни тысяч тонн – вяжущий материал и свыше миллиона тонн – инертный наполнитель. Составы твердеющей закладки, применяемые в технологических циклах ЗЖРК и рудников «ВостГОК», приведены в табл. 1.

Различия в прочности закладочных массивов на рудниках связано с условиями залегания полезного ископаемого и установленной нормативной прочностью при отработке урановых и железных руд. С целью снижения стоимости закладочных работ на рудниках ГП «ВостГОК» изучают возможности использования хвостов обогащения урановых руд в качестве инертного наполнителя. Прочность закладки на основе хвостов обогащения составила 3-5 МПа [2]. В дальнейшем ЗЖРК планирует увеличить производство закладочных работ на 34 % [3], что связано с плановой отработкой этажей 640-740 и 740-840 м.

В настоящее время в качестве вяжущего материала на подземных рудниках широко применяют шлак черной и цветной металлургии. Однако, несмотря на то, что это отходы, шлаки стали дорожать в связи с их масштабным использованием в строительной промышленности. Портландцемент используется только при заполнении днищ отработанных камер в количестве 50 кг/м³ (10 % от массы вяжущего). Результаты исследований [4-6] показали значительный рост гидравлической активности тонкодисперсных фракций

Таблица 1. Составы твердеющей закладки, применяемой на ЗЖРК и рудниках ГП «ВостГОК»

Компонент закладки	ЗЖРК	Рудники ГП «ВостГОК»
Вяжущее, %	Шлак – 18,1	Шлак – 9,74 - 15,1
Инертный наполнитель, %	Флюс - 47,5; Порода - 16,3	Порода -36,6; Песок – 31,7 - 36,6
Вода, %	18,1	17,06
Прочность закладки, МПа	6-7 (3 мес.)	3-5 (6 мес.)

Таблица 2. Технологические режимы и показатели струйного измельчения

серия	материал	P , МПа	n , мин ⁻¹	Q , г/с	S_{y0} , см ² /г
1	шлак	0,3	600	2,12	2832,1
2	доломит	0,3	600	1,54	2637,8
3	шлак	0,3	2000	0,73	6592,8
4	доломит	0,3	2000	1,75	6808,4



Рис. 1. Установка УСИ-20 струйного измельчения

шлаков при удельной поверхности S_{y0} порядка 0,6-0,8 м²/г – до 30-40 МПа при струйном измельчении, против 10 МПа – при шаровом помоле. Однако эти исследования представлены для строительной промышленности (получение прочных цементов), которая отличается от закладочных работ рядом технологических параметров: водоцементное соотношение, сроки загустевания, нормативная прочность, соотношение компонентов.

Прочность закладочного массива может колебаться в зависимости от горно-геологических и горнотехнических факторов. Основным параметром, влияющим на расход вяжущего материала в технологии приготовления закладочной смеси, является нормативная прочность закладочного массива. На практике установлена линейная зависимость расхода вяжущего от требуемой прочности закладочного массива: чем меньше количество вяжущего материала, тем меньше прочность. Полагаем, что при достаточно полном раскрытии вяжущих свойств доменного гранулированного шлака и флюсового доломита можно при меньшем их расходе достичь нормативной прочности закладки, соответствующей технологическому паспорту закладочных работ. Под полным раскрытием понимается механическое измельчение частиц вяжущего материала до определенной фракции, при которой обеспечивается минимальный расход вяжущего

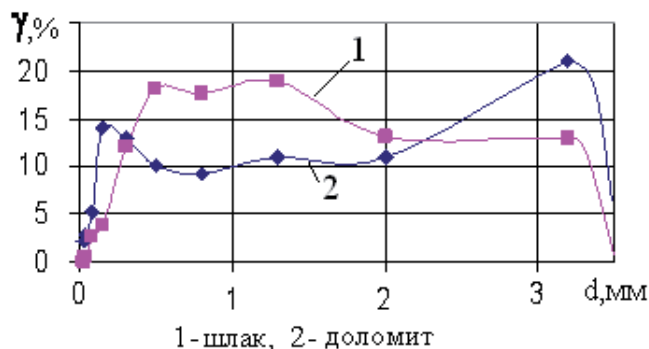


Рис. 2. Гранулометрический состав исходных материалов

го при наборе установленной прочности.

Целью работы является установление влияния крупности и удельной поверхности частиц измельченного вяжущего материала на прочностные свойства закладочного массива и разработка практических рекомендаций для использования твердеющей закладки с заданной прочностью.

При повышенной дисперсности (менее 100 мкм) измельченных материалов в их технологических свойствах проявляется эффект механоактивации, оцениваемый изменением адсорбционного потенциала тонкодисперсного вещества в специальной физико-химической системе [4]. С эффектами механоактивации связано повышение скорости образования и качества конечных продуктов при обогащении, спекании, брикетировании, сжигании, гидрометаллургической и химической переработке. Технологические свойства на практике оценивают различными параметрами в зависимости от вида технологического передела измельченных продуктов: вяжущими свойствами, прочностью изделий, скоростью растворения, температурой реакции, расходом реагентов, эффективностью обогащения. Варьируя дисперсным составом материала и эффектом механоактивации, возможно получать закладочные смеси требуемой прочности, что послужит основой для управления прочностной характеристикой закладочного массива в конкретных горно-геологических условиях.

В настоящее время для измельчения доменных шлаков в целях обеспечения технологической и природоохранной функции закладки на горнорудных предприятиях используются шаровые мельницы. Измельчение шлаков осуществляется мокрым помолом до крупности 50-60 % фракции менее 0,074 мм. Однако измельчение шлака и доломита можно производить с большей степенью измельчения и механоактивации в измельчительных установках нового поколения, реализующих высокодинамичные режимы нагружения и разрушения частиц: струйных и центробежно-ударных мельницах, дезинтеграторах тонкого помола. Исследования показали, что при повышенном содержании тонких фракций (менее 30 мкм) в большей степени проявляются ценные вяжущие свойства шлаков [6].

Одной из задач исследования является изучение влияния крупности компонентов смеси на прочност-

ную характеристику закладки. Новизна этой работы заключается в установлении характера этой зависимости при относительно крупном (до 20 мм) заполнителе закладочной смеси. Прежде флюсовый доломит использовался как инертный заполнитель крупностью частиц до 5 мм и экспериментально рассматривался как микронаполнитель с дисперсностью частиц 0,074 мм. Кроме того, экспериментальные исследования прочности закладочной смеси проводились с уменьшенным в 2 раза расходом шлака 1 м³. В качестве наполнителя смеси использовался флюсовый доломит в количестве 50 % и 100 % от массы гранулированного шлака, который измельчался совместно со шлаком.

На рис. 1 показан общий вид струйной измельчительной установки УСИ-20.

На рис. 2 показаны частные характеристики гранулометрического состава исходных компонентов твердеющей закладки: доменного гранулированного шлака и доломита.

В табл. 2 приведены технологические режимы и показатели струйного измельчения. Приняты следующие обозначения: P – давление сжатого воздуха, МПа; n – частота вращения ротора классификатора, мин⁻¹; Q – производительность мельницы, г/с; $S_{уд}$ – удельная поверхность измельченного продукта, см²/г.

Параметры дисперсности измельченного материала оценивались по величине удельной поверхности $S_{уд}$ и содержанию наиболее тонких фракций (β_{-5} , β_{-10} , β_{-30}) менее 5, 10 и 30 мкм.

На рис. 3 показана зависимость величины $S_{уд}$ удельной поверхности от содержания ряда тонких фракций в продуктах струйного измельчения. Пользуясь этими графиками, можно прогнозировать количество микронных фракций в продуктах струйного измельчения при различных значениях $S_{уд}$.

На рис. 3 видно, что при удельной поверхности порядка 0,7 м²/г измельченный продукт может содержать частицы менее 30 мкм в количестве до 95 %, менее 10 мкм – до 70 %, менее 5 мкм – до 23 %. Полагаем, что мелкие и тонкие частицы размолотого шлака и доломита стремятся заполнить поры и пустоты между крупными частицами компонентов закладки, способствуя росту прочности и придавая закладочной смеси более однородную структуру.

На рис. 4 приведена экспериментальная зависимость прочности закладки (для условий ЗЖРК) от дисперсности измельченных частиц вяжущего материала. Составы твердеющей закладки проектировались с расходом вяжущего материала 200 кг/м³ для установления возможности получения экономического эффекта.

Анализируя кривые, приведенные на рис. 4, можно сделать вывод о том, что повышение параметра дисперсности (удельной поверхности) с 0,28-0,26 до 0,66-0,68 м²/г вяжущего материала приводит к более высокой прочности закладки, причем прочность значительно возрастает в течение первого месяца твердения с 5 до 8,8 МПа.

В условиях ЗЖРК при расходе гранулированно-

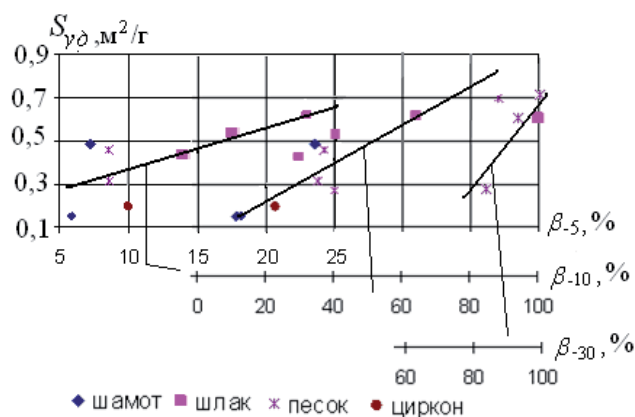


Рис. 3. Влияние содержания тонких фракций (β_{-5} , β_{-10} , β_{-30}) в измельченных продуктах на величину их удельной поверхности ($S_{уд}$)

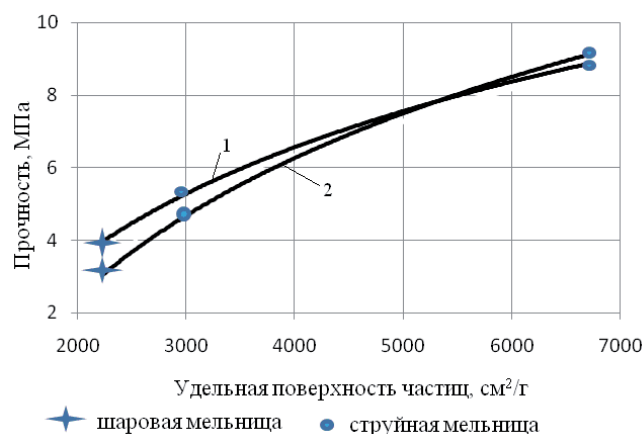


Рис. 4. Зависимость прочности закладки от дисперсности частиц измельченного шлака и доломита: 1 – состав с доломитом 50 %; 2 – состав с доломитом 100 %

го шлака 400 кг (размер частиц менее 0,074 мм) получают прочность закладки порядка 6 МПа в возрасте 3 месяцев. Три месяца отводится на твердение и набор нормативной прочности закладочного массива в камере. По результатам данных экспериментальных исследований заложенная камера может быть устойчивой уже через месяц твердения. Это является преимуществом разрабатываемой технологии, так как повышение эффективности ведения горных работ в отработываемом этапе позволит ввести в эксплуатацию новые рудные площади. Полагаем, что крайним пределом измельчаемости шлака и доломита следует считать размер 0,02 мм. С увеличением удельной поверхности частиц возрастает также скорость схватывания твердеющего раствора. Для условий ЗЖРК начало схватывания твердеющей смеси достигается не ранее, чем через 4 ч [7]. Начало схватывания экспериментальных составов твердеющей закладки наступило не ранее чем через 4,5 ч, что удовлетворяет условиям технологии закладочных работ.

Проведенное исследование показывает, что размол гранулированного шлака и доломита до размера частиц 0,02 мм позволит снизить расход шлака в 2–2,5 раза на 1 м³ закладочной смеси. При этом прочностные характеристики будут увеличены не менее чем на 70 % по сравнению с применяющейся в настоящее время на рудниках тонкостью измельчения до

0,074 мм. Таким образом, процесс тонкодисперсного измельчения совместно со шлаком доломита способствует также быстрому росту прочности измельченной смеси. Это позволит снизить затраты на приобретение доменного гранулированного шлака и получить требуемую прочность в конкретных условиях.

Учитывая тот факт, что срок службы рудников исчисляется несколькими десятками лет, считаем, что приобретение новейшего измельчительного оборудования весьма перспективно. Рациональный подбор соотношения компонентов закладки и технологии измельчения вяжущих материалов предположительно позволит удешевить закладочные работы по материалу на 24 % для ЗЖРК и порядка 10-12 % для рудников «ВостГОКа».

Повышение дисперсности частиц вяжущего целесообразно применять на рудниках с достаточно высоким расходом доменного гранулированного шлака: порядка 400-500 кг на 1 м³ закладочной смеси. Для более точной оценки предложенной технологии рекомендуется составить ТЭО проекта совершенствования закладочных работ и более конкретно произвести расчет возможной прибыли.

Выводы

1. При увеличении удельной поверхности измельченного шлака и флюсового доломита с 2200 до 6700 см²/г прочность закладочного массива увеличивается до 9 МПа после 30 дней твердения.
2. При измельчении флюсового доломита до удельной поверхности $S \geq 6000$ см²/г наблюдается наиболее интенсивное проявление вяжущих свойств.
3. Длительность твердения закладки при условии набора нормативной прочности закладочного массива в камере может быть сокращена до трех раз за счет применения высокодисперсных ($S_{y0} = 6000-$

7000 см²/г) компонентов закладочной смеси. Заложная камера может быть устойчивой практически через месяц твердения.

Библиографический список.

1. Крупник Л.А., Соколов Г.В. Закладочные смеси высокой плотности, их свойства и перспективы применения / Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. - № 11. – С. 237-240.
2. Ляшенко В.И., Дятчин В.З., Тархин Ю.Н. Научно-технические основы повышения безопасности жизнедеятельности в уранодобывающем регионе // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 2. – С. 7-14.
3. Закрытое акционерное общество «Запорожский железорудный комбинат» // <http://rudana.in.ua/zgrk.htm>
4. Горобец Л.Ж. Развитие научных основ измельчения твердых полезных ископаемых. Автореф. дис.... д-ра техн. наук: 05.15.08 / НГУ. – Днепропетровск, 2004. – 35 с.
5. Рациональный вариант переработки доменных шлаков / В.П. Кравченко, П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, Н.С. Прядко // Збагачення корисних копалин. – 2010. - № 40 (80). – С. 186-191.
6. Горобец Л.Ж., Коваленко В.В., Шуляк И.А., Кравченко В.П. Улучшение технологических свойств строительных материалов на основе измельчения и механоактивации // Збагачення корисних копалин. – 2008. - № 34 (75). – С. 75-81.
7. Типовая технологическая инструкция производства закладочных работ на горнорудных предприятиях Украины. – Кривой Рог: ЗЖРК, 1994. – 62 с.

Поступила 16.02.11



Научно-технический и производственный журнал
“МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ И ГОРНОРУДНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ”

Единственное в Украине специализированное издание, освещающее все проблемы горно-металлургического комплекса!

Продолжается подписка на журнал
“МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ И ГОРНОРУДНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ” на 2011 г.
Стоимость 1 экз. журнала - 400 грн.; 1 комплекта на год - 2400 грн.
Стоимость эл. варианта на год - 1440 грн.
 Индекс в каталоге “Укрпочта”, “Роспечать” 74311
 Подписаться можно в редакции, перечислив на
 р/с ООО “Укрметаллургиформ “НТА” необходимую сумму
Контактный телефон (факс) 0562-46-12-95, 056-744-81-66

На сайте metalljournal.com.ua - содержание последнего номера журнала с аннотацией на русском и английском языках

Журнал для тех, кто работает в металлургии и для металлургии !