

**М.Н.АНДРЕЕВ**, аспирант, *gorengi@yandex.ru*

**Э.И.БОГУСЛАВСКИЙ**, д-р техн. наук, профессор, *bogusl@spmi.ru*

*Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)*

**M.N.ANDREYEV**, post-graduate student, *gorengi@yandex.ru*

**E.I.BOGUSLAVSKIY**, Dr. in eng. sc., professor, *bogusl@spmi.ru*

*Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)*

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЗАКЛАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА И ИСПЫТАНИЯ ЕГО ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ**

Статья посвящена анализу применяемых на алмазодобывающих рудниках составов закладочных смесей, описанию исследований закладочного материала и определению его прочностных свойств для разработки оптимального состава в условиях кимберлитовых трубок Якутии.

**Ключевые слова:** Кимберлитовые трубы, подкарьерные запасы водоносный горизонт, способ подземной разработки, состав закладочного материала.

## **DEVELOPMENT OF THE STOWING MATERIAL AND TESTING OF ITS MECHANICAL PROPERTIES**

Article is in touch with analysis of backfill materials applied on diamond mines, description of research of its mechanical properties to create the optimal compound in conditions of Yakutian kimberlitic tubes.

**Key words:** Kimberlitic tubes, underquarry reserves, water-bearing level, compound of backfill material.

В Якутии на рудниках «Интернациональный», «Мир» и «Айхал» активно переходят на разработку кимберлитовых месторождений подземным способом. В этих условиях возникла проблема отработки подкарьерных запасов. Она связана с: нарушением целостности рудного тела массовыми взрывами; угрозой прорыва воды, с растворенными минералами и сероводородом из мощного водоносного горизонта; большой глубиной ведения работ; неустойчивыми вмещающими породами; вечной мерзлотой и др. Этой проблемой в разное время занимались многие исследователи [1-4], но до сих пор не существует безопасной и рациональной технологии, позволяющей извлечь весь запас ценного полезного ископаемого без оставления предохранительных рудных целиков.

Авторами разработана и запатентована технология отработки подкарьерных запасов применительно к условиям месторождений МГОК АК «АЛРОСА». Она включает создание барьерного гидроизолирующего целика и дальнейшую отработку рудного тела в зоне водоносного горизонта. Искусственный целик создается за счет извлечения части руды по контуру трубы и заливы отработанного пространства разработанным составом закладочной смеси [5]. Созданный целик служит защитной конструкцией, предотвращающей прорыв воды и размытых вмещающих пород.

При разработке состава закладочной смеси проведены лабораторные испытания по определению прочностных свойств закладочного материала.

При проведении исследований образцы твердеющей закладочной смеси создавались с использованием специально сконструированного экспериментального стенда. Для получения зависимости усадки и прочностных свойств закладочного материала от использования различных добавок и их количества, каждая серия образцов имела свой уникальный состав. Испытания образцов закладочного материала проводились в соответствии с нормативами, указанными в ГОСТ 28570-90, ГОСТ 10180-90, ГОСТ 22685, ГОСТ 18105.

В настоящее время на рудниках АК «АЛРОСА» используются различные пропорции закладочного материала, в основе которого: портландцемент М400, песок, пластифицирующая добавка ЛСТ, вода. Плотность данной закладки в зависимости от состава составляет 1779-1878 кг/м<sup>3</sup>, прочность на 28-е сутки от 0,7 до 10,1 МПа, усадка с учетом водоотдачи составляет в среднем 12-14 %. Данные составы имеют высокий процент усадки, не обладают герметизирующими и морозостойкими свойствами и потому не применимы для создания барьера гидроизолирующего целика.

В связи с существующей гидрогеологической ситуацией были сформулированы требования к закладочной смеси:

- необходимая прочность;
- минимальная усадочная деформация;
- коррозионная стойкость;
- низкая водопроницаемость;
- минимальное водоотделение;
- индифферентность к нефтегазопроявлению.

При твердении на воздухе происходит усадка закладочного материала, т.е. закладочный материал сжимается и его линейные размеры сокращаются. Усадка слагается из влажностной, карбонизационной и контракционной составляющих. Вследствие усадки закладочного материала в массиве возникают усадочные напряжения. При усадке закладочного материала 0,3 мм/м в массиве высотой 30 м общая усадка составляет около 10 мм. Закладочный материал высыхает снаружи, а внутри он еще долго остается влажным. Неравномерная усадка вызывает растягивающие напряжения в наружных слоях массива и по-

явление внутренних трещин на контакте с заполнителем и в самом цементном камне.

Газообразующие добавки при использовании небольших доз применяют в основном для предупреждения объемных изменений, вызываемых осадкой и пластичной усадкой, а при использовании больших доз – для производства ячеистого и самонапряженного закладочного материала. Газообразующие добавки разделяются на два класса:

1) однокомпонентные, состоящие главным образом из газовыделяющего агента и небольшого количества других ингредиентов, применяемых для стабильности пузырьков и ускорения газовыделения;

2) многокомпонентные, которые содержат различные химические вещества, вводимые для уменьшения водопотребности и увеличения прочности.

В качестве однокомпонентных добавок применяются разнообразные металлы и другие материалы. Металлические Al, Mg или Zn используются для выделения водорода, и кислорода; соединения, содержащие азот, выделяют азот, а определенные виды активированного угля или обезвоженного кокса – воздух. Порошковый Al используется чаще, чем другие материалы.

Многокомпонентные добавки, используемые в тампонажных цементных растворах и ячеистом закладочном материале, смешиваются в определенных количествах с другими добавками или химикалиями для получения запатентованных продуктов, которые обеспечивают заданные свойства закладочного материала. Продолжительность газовыделения определяет стабильность объема.

Таким образом целью исследований явилось получение зависимости усадки и прочностных свойств от применения различных добавок и разработка на этой базе оптимального состава закладочного материала.

Для достижения данной цели были обозначены и определены следующие задачи:

- изучить влияние различных добавок на закладочный материал;
- исследовать фильтрационные и прочностные свойства закладочного материала;
- рассмотреть возможность послойного строения гидроизолирующего барьера целика.

Одна из использованных при испытаниях расширяющая добавка ЛАД-6 представляет собой тонкоизмельченную смесь, состоящую из алюминатных, сульфоалюминатных и сульфатных компонентов. Добавка вводится в обычный бездобавочный портландцемент для получения цемента с уникальными специфичными свойствами. Он обладает всеми положительными качествами бездобавочного состава и дополнительно обеспечивает в закладочных материалах:

- исключение усадки и ее отрицательных последствий;
- полную водонепроницаемость, при этом дополнительной гидроизоляции не требуется;
- повышенную морозостойкость;
- повышенную стойкость в агрессивных средах;

Методика проведения испытаний закладочной смеси заключалась в следующем:

1. В качестве контрольной характеристики прочности твердеющей закладки принимается предел прочности при одноосном сжатии, определяемый при раздавливании специально изготовленных для этой цели образцов-цилиндров. При этом за эталон принят цилиндр 10·20 см, для изготовления образцов используют специ-

альный стенд (рис.1), моделирующий условия заливки и твердения закладочного материала сходные с условиями рудника.

2. Образцы для определения прочности изготавливаются и испытываются сериями. Испытательный цилиндр заливается твердеющей закладкой. Уплотнение смеси в формах производится штыкованием стальным стержнем. После окончания уплотнения производят заглаживание поверхности образца. Измеряются параметры заложенного массива до и после его усадки. Определяется интенсивность, динамика усадки во времени. Цилиндр стендса освобождается от образца закладки и затем повторно заливается закладочной смесью. После создания серии образцов, происходит заливка уже с другим составом.

3. Изготовленные образцы помещают в нормальные условия твердения. Камера нормальных условий твердения должна обеспечивать заданную температуру и влажность ( $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $W = 95 \pm 5\%$ ).

4. В нормативные сроки образцы извлекаются из форм, осматриваются, измеряются и взвешиваются. Измеряют образец с погрешностью  $\pm 1\%$  линейного размера.

5. Испытания на прочность выполняют после извлечения образцов из камеры нормального твердения, при проведении испытаний придерживаются ГОСТ 28570-90. Образцы испытываются на одноосное сжатие на прессе фирмы REMAC. Они устанавливаются на опорную плиту пресса централизованно относительно его оси. Нагрузка должна повышаться с постоянной скоростью  $0,6 \pm 0,2 \text{ МПа/с}$  до разрушения образца. Максимальное значение принимается за величину разрушающей нагрузки.

6. Предел прочности на одноосное сжатие образцов, изготовленных из закладочных смесей, хранящихся в камере нормального твердения, и испытанных в возрасте 28 суток является марочной прочностью.

Снижение усадки закладочного материала (рис.2) зависит от увеличении количества расширяющей добавки ЛАД-6 выпускаемой фирмой «ХимМодификатор».

Испытания на определение предела прочности на одноосное сжатие (рис.3) показали незначительное снижение прочности при увеличении количества добавки.

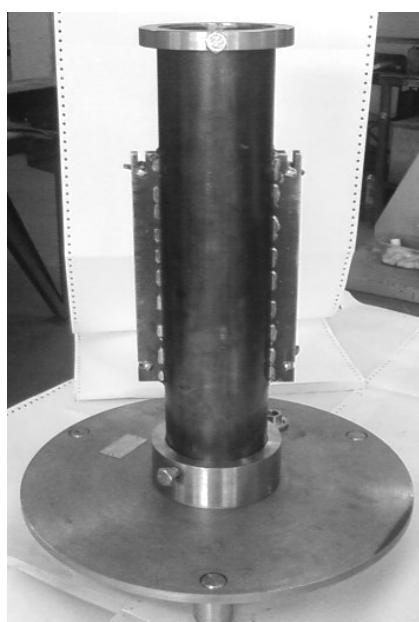


Рис.1. Стенд для проведения исследований зависимости усадки закладочного материала от количества расширяющих добавок

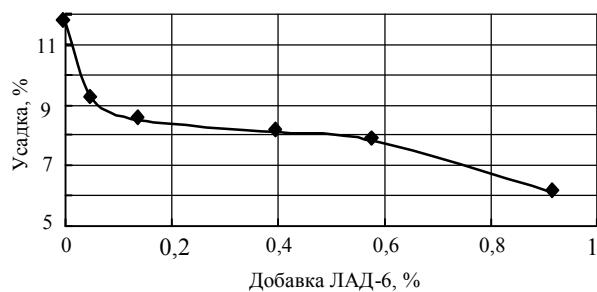


Рис.2. Зависимость усадки закладочного материала от количества добавки ЛАД-6

Полученные составы закладочной смеси не уступают по своим качествам, применяемым на руднике «Интернациональный» и могут быть использованы для заполнения выработанного пространства.

В соответствии с экспериментальными данными оптимальная доза добавки ЛАД-6 в закладочных смесях зависит от расхода вяжущего (портландцемента) и определяется по формуле

$$Q_{\text{д}} = \frac{Q_{\text{ц}}}{43,25},$$

где  $Q_{\text{д}}$  – расход добавки в сухом состоянии, кг;  $Q_{\text{ц}}$  – расход вяжущего в составе закладочной смеси, кг.

Анализ экспериментальных данных дал возможность определить оптимальное количество расширяющей добавки в составе закладочного материала.

Прочность закладочного материала в возрасте 28 суток, с оптимальной дозой добавки ЛАД-6, обеспечивает необходимые осадочные и прочностные требования отработки подкарьерных запасов кимберлитов в условиях рудников АК «АЛРОСА».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айнбinder И.И. К проблеме отработки подкарьерных запасов трубы «Мир» подземным способом / И.И.Айнбinder, Н.П.Крамсков // Горный журнал. 2000. №8.

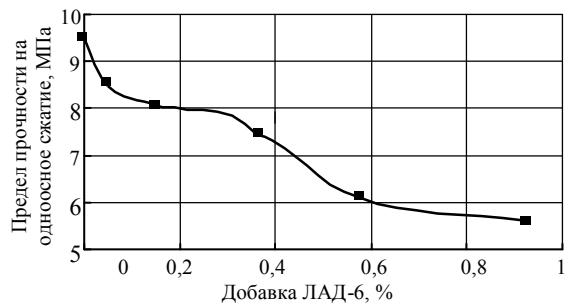


Рис.3. Зависимость предела прочности на сжатие закладочного материала от количества добавки ЛАД-6

2. Замесов Н.Ф. Технические решения по ускоренному вскрытию и подготовке к эксплуатации подкарьерных запасов трубы «Мир» // Горный журнал. 2000. № 2.

3. Каплунов Д.Р. Комбинированная геотехнология при освоении алмазоносного месторождения трубы «Удачная» / Д.Р.Каплунов, М.В.Рыльникова, В.В.Калмыков, Ю.А.Петров, В.А.Суслов // Горная промышленность. 2005. № 4.

4. Осинцев В.А. Комплексный открытоподземный способ разработки рудных месторождений с крутыми нерабочими бортами карьера // Горный журнал. 2005. № 3.

5. Boguslavskiy E.I. Technology of kimberlitic tubes mining / E.I.Boguslavskiy, M.N.Andreyev // Scientific Reports on Resource Issues, Freiberg, Germany, 2010.

## REFERENCES

1. Ajnbinder I.I. To a working off problem of underquarry tube reserves «Mir» in the underground way / I.I.Ajnbiner, N.P.Kramskov // Mining magazine. 2000. №8.

2. Zamesov N.F. «Technical decisions on the accelerated opening and preparation for operation of underquarry reserves of «Mir» diamond tube stocks / Mountain magazine. 2000. № 2.

3. Kaplunov D.R. The combined geotechnology at development of a diamondiferous deposit of a tube «Udachnaya» / M.V.Rylnikova, V.V.Kalmykov, U.A.Petrov, V.A.Suslov // Mining industry. 2005. № 4.

4. Osintsev V.A. The complex of opened-underground way of working out of ore deposits with abrupt non-working boards of an open-cast mine» // Mining Magazine. 2005. № 3.

5. Boguslavskiy E.I. Technology of kimberlitic tubes mining / E.I.Boguslavskiy, M.N.Andreyev // Scientific Reports on Resource Issues, Freiberg, Germany, 2010.