

Д. т. н. С. Я. Давыдов (✉), д. х. н. Р. А. Апакашев, д. т. н. Н. Г. Валиев,
к. т. н. В. А. Старцев

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»,
Екатеринбург, Россия

УДК 553.492.1:662.281.74

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БОКСИТОВЫХ РУДНИКОВ

Приведены характеристики боксита как сырья для производства огнеупоров. Рассмотрен ряд крупных месторождений боксита на территории России. Предложены варианты безопасной крепи для поддержания горных арочных выработок и анкерное устройство с расположением анкера в слое бокситового пласта. Дано определение нагрузки на крепь со стороны свода.

Ключевые слова: бокситовые рудники, бокситы, выработка арочной формы, анкер, гибкая оболочка.

Бокситы — горная порода, являющаяся важнейшим сырьем для производства алюминия. По масштабам производства и потребления алюминий занимает второе место после железа и первое среди цветных металлов, что связано с его универсальными физико-механическими свойствами [1]. В практике промышленного использования бокситовых горных пород принято выделять собственно бокситы, относящиеся к группе алитов и характеризующиеся содержанием оксида алюминия, более чем в 3 раза превышающим содержание оксида кремния. Для производства огнеупоров применяется как высокоглиноземистое, так и кремнеземистое бокситовое сырье. В последнем случае требуется небольшое содержание оксидов железа, титана и кальция, так как все эти примеси снижают огнеупорность, температуру начала деформации под нагрузкой, шлакоустойчивость и другие важные свойства огнеупорных изделий. В требованиях к бокситовому сырью для производства огнеупоров регламентируется содержание CaO и Fe_2O_3 для сырья первого сорта соответственно не более 1 % и не более 2 %, для сырья второго сорта не более 2 % и более 3 % (https://studbooks.net/2505440/tovarovedenie/vysokoglinozemistye_materialy).

В зависимости от вида примесей истинная плотность бокситов колеблется от 2,3 до 3 г/см³ и после обжига увеличивается до 3–3,5 г/см³.

Оксиды железа и кальция снижают огнеупорность бокситов. Наименее загрязненные бокситы имеют огнеупорность до 1800–1900 °С. Обязательным условием использования бокситов для изготовления огнеупорных изделий является предварительный обжиг сырья на шамоте из-за высокой усадки при нагревании. Наиболее благоприятный режим обжига подбирается при разработке технологии производства.

Россия и страны СНГ располагают крупнейшими природными ресурсами разнообразного высокоглиноземистого сырья. Разведанные и перспективные запасы кианитового сырья в Мурманской обл. и Республике Карелия со средним содержанием кианита от 27 до 34 % (реже 38–40 %) практически неисчерпаемы. На территории России известен целый ряд менее значительных месторождений кианита: на Урале, в Сибири, в Алтайском крае. Недавно открыто крупное месторождение силлиманитовых сланцев в Кяхтинском районе Бурятии. На территории Казахстана имеются многочисленные месторождения андалузита и диаспора, реже кианита и джюмюртьерита в Карагандинской, Восточно-Казахстанской и Южно-Казахстанской области. Андалузитовые руды имеются также в Армении (Сиси-Мадапское, Шагарбанское). Месторождения корунда известны в Казахстане (Семиз-Бугу), в Якутии (Чайнытское) и в некоторых районах Урала (Кыштым, Миасс и др.).

Входящий в компанию РУСАЛ Североуральский бокситовый рудник (СУБР) является ведущим предприятием по добыче боксита. На сегодняшний день в составе СУБР четыре действующих шахты: Красная Шапочка, Кальинская, Ново-Кальинская и Черемуховская. В 2015 г. начался новый этап развития СУБРа — запущена в эксплуатацию шахта Черемуховская-Глубокая глубиной 1550 м [1]. На шахты Североуральска



С. Я. Давыдов
E-mail: davidovtrans@yandex.ru

приходится более 70 % добываемого в России боксита. Для Североуральска и соседнего Краснотурьинска отправляется 95 % добываемых бокситов на Богословский алюминиевый завод компании РУСАЛ. Шахта Ново-Кальинская (рис. 1), которая находится в составе СУБР (АО «СУБР»), является важной частью ресурсной базы компании РУСАЛ. Главными потребителями бокситовой руды являются Богословский (г. Краснотурьинск) и Уральский (г. Каменск-Уральский) алюминиевые заводы.



Рис. 1. Стяжная анкерная крепь арочной выработки шахты Ново-Кальинская (<https://uralmines.ru/subshahta-novo-kalinskaya/>)

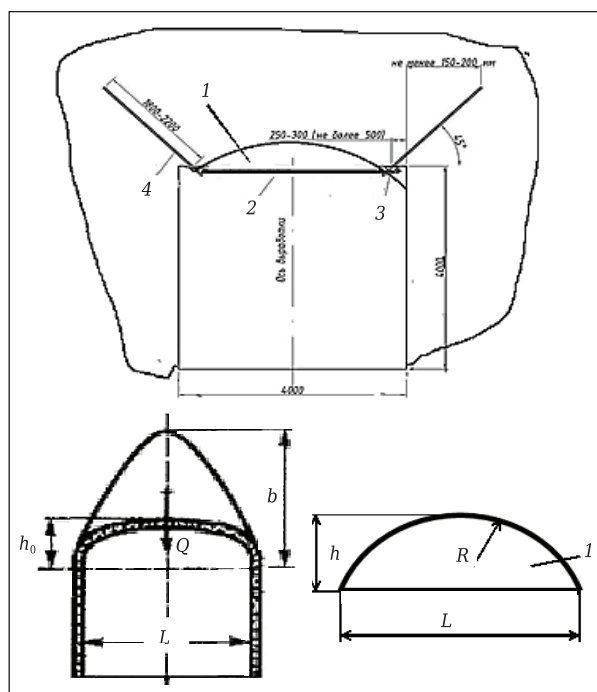


Рис. 2. Схемы устройства анкерной крепи горных выработок: а — схема к расчету нагрузки на крепь при неустойчивой кровле прямоугольно-сводчатой выработки (1 — гибкая оболочка, 2 — перекрытие, 3 — стяжные элементы, 4 — податливые анкера); б — схема поперечного сечения арочного пространства при прямоугольно-сводчатой форме сечения выработки; в — схема для определения радиуса обнаженной поверхности кровли

Для обеспечения безопасности и эффективности очистной выемки при добыче бокситов предложена крепь для поддержания горных арочных выработок [2]. Разработка может найти применение для крепления как подготовительных, так и нарезных выработок арочной формы любой степени податливости, в том числе жесткой. Задача предлагаемого вида крепи горных выработок — повышение ее несущей способности за счет создания противодействия своду обрушения породы и улучшение ее рабочей характеристики в режиме податливости. Применение гибкой крепи, работающей в податливом режиме, обеспечивает надежный и постоянный контакт крепи с породой.

Анкерная крепь для поддержания горных арочных выработок (рис. 2) включает [2] узел податливости поддерживающей обнаженной поверхности кровли арочной выработки (арочного пространства), который содержит гибкую оболочку 1, уложенную на перекрытие 2. Перекрытие 2 подвешено на стяжных элементах 3, которые закреплены на податливых анкерах 4. Уложенная на перекрытии гибкая оболочка 1 выполнена в виде сегмента (см. рис. 2, в) в поперечном сечении, высотой h :

$$h = R - \sqrt{R^2 - L^2/4},$$

где R — радиус окружности породы, м; L — ширина поперечного сечения арочного пространства при прямоугольно-сводчатой форме сечения выработки (пролет выработки по кровле), м.

Крепь будет нести полную нагрузку со стороны свода. Со стороны боков нагрузка отсутствует (породы в боках устойчивы). Для определения нагрузки на крепь со стороны свода пользуются расчетным методом М. М. Протодяконова [3]. При прямоугольно-сводчатой форме сечения выработки давление Q , Н/м, со стороны кровли на единицу длины выработки определяют по формуле

$$Q = L(b - h_0)\gamma,$$

где b — высота свода обрушения, определяемая по зависимости, м, $b = L/2\text{tg}\varphi$; h_0 — высота искусственного свода выработки по проекту (см. рис. 2, б), м; γ — объемный вес пород, Н/м³; φ — угол внутреннего трения пород; L — ширина поперечного сечения арочного пространства, определяется из зависимости $L = Q/(b - h_0)\gamma$. При этом для создания распора гибкой оболочки давление внутри нее должно превышать максимальное давление Q со стороны кровли.

Пустые гибкие оболочки 1 в свернутом состоянии размещают на перекрытии 2. Для приведения крепи в рабочее положение через штуцеры (не показаны) оболочки 1 наполняют сжатым воздухом, жидкостью, твердеющей массой и другими смесями. При заполнении гибких оболочек используют бетононасосы.

Процесс твердения, т. е. превращение вязущего теста в камневидное тело, происходящий в результате физико-химических превращений, можно условно разделить на два периода: схватывание и собственно твердение. Начало схватывания имеет существенное значение, так как операции приготовления, транспортировки и закладки твердеющих смесей можно производить лишь тогда, когда смесь еще не начала схватываться. Конец схватывания — момент полного загустевания и превращения вязущего теста в камневидное тело, еще не обладающее значительной прочностью. В дальнейшем происходят твердение материала в результате продолжающихся физико-химических процессов, сопровождающееся ростом прочности, а затем расправление оболочек и заполнение арочных пространств. В результате создается необходимый постоянный распор, воспринимающий давление горных пород.

При давлении в гибких оболочках, превышающем максимальное давление со стороны кровли, стенки оболочки облегают все неровности контура арочных пространств, что обеспечивает равномерную нагрузку на крепь при интенсификации горного давления. Оболочки выполняются из полимерного материала или прорезиненной ткани. Для усиления крепи могут дополнительно устанавливаться арки из спецпрофиля.

Анкер 8 (рис. 3) включает стержень 2 в виде бокситового керна заданной длины и диаметра [4, 5]. С помощью закрепляющего состава 3 производится не только скрепление отдельных фракций 4 бокситового керна, но и его усиление в целом. Полученный монолитный стержень 2 помещен в эластичную оболочку 5, снабженную монтажным сквозным отверстием 6, выполненным в гибкой проушине 7 эластичной оболочки 5. Гибкая проушина 7 при работе может отклоняться в любую сторону. В результате получается анкер 8 для упрочнения бокситового пласта 1.

Полученный анкер 8 помещается в шпур 9 (см. рис. 3, б) бокситового пласта 1. Для придания прочности и увеличения эксплуатационной несущей способности укрепляемого слоя бокситового пласта полость 10 между стенками шпуров 9 анкеров 8 заполняется связующим твердеющим составом. Податливые анкера в кровле установлены под углом α (см. рис. 2, рис. 4), который для надежности закрепления податливых анкеров должен соответствовать следующему условию [6]:

$$T_{\max} \leq T_{\text{анк}} \cdot \cos \alpha,$$

где $T_{\max}$ — максимальная сила натяжения гибкого подхвата, кН; $T_{\text{анк}}$ — несущая способность анкера, которая обеспечивает надежность закрепления стяжной анкерной крепи, кН; α — угол установки анкеров в породах кровли, град.

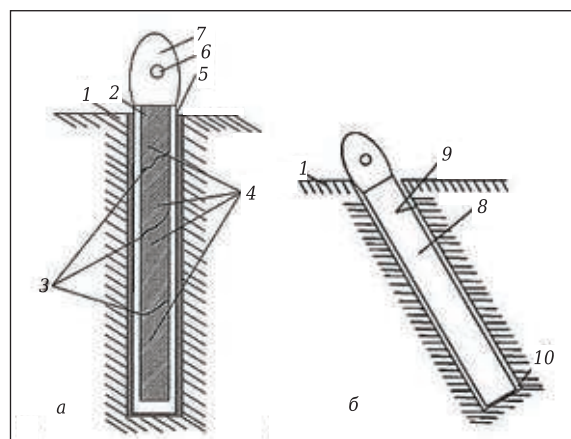


Рис. 3. Анкерное устройство в виде бокситового керна: а — схема анкерного устройства (1 — бокситовый пласт, 2 — стержень, 3 — закрепляющий состав, 4 — отдельные фракции бокситового керна, 5 — эластичная оболочка, 6 — монтажные сквозные отверстия, 7 — гибкая проушина); б — расположение анкера в слое бокситового пласта (8 — анкер, 9 — шпур, 10 — полость со связующим твердеющим составом)

В трещиноватой однородной бокситовой массе большой мощности анкерная крепь предохраняет выработку от обрушения отдельных кусков при раскрытии природных трещин под воздействием горного давления. Предлагаемое устройство позволяет снизить трудоемкость ведения очистных работ, повысить эффективность упрочнения почвы. Исключаются дорогостоящие материалы на изготовление анкера; отсутствуют инородные материалы, влияющие на качество добываемой продукции. Для изготовления анкеров используется основной материал, который добывают непосредственно в забое, что позволяет снизить их себестоимость. Повышается безопасность ведения подземных работ за счет упрочнения подошвы, снижающего пылеобразование. Устраняется попадание пустой породы в призабойное пространство, что позволяет сохранить качество боксита и повысить безопасность горных работ.

Таким образом, технический результат предлагаемого вида крепи горных выработок — повышение несущей способности крепи за счет создания противодействия своду обрушения породы и улучшение ее рабочей характеристики в режиме податливости. Применение гибкой кре-

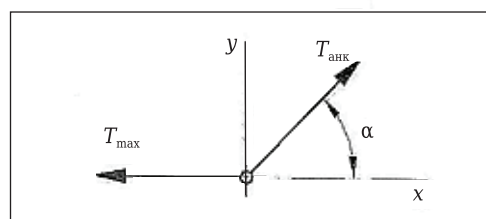


Рис. 4. Расчетная схема работы анкерного крепления

пи, работающей в податливом режиме, обеспечивает надежный и постоянный контакт крепи с породой.

Библиографический список

1. **Кожухметова, З. Ж.** О современных методах разработки бокситовых месторождений / З. Ж. Кожухметова, О. С. Кожухметов // Молодой ученый. — 2017. — № 17. — С. 95–98 (URL: <https://moluch.ru/archive/151/42900/>).
2. **Заявка 2021112126 Российская Федерация.** Крепь для поддержания горных арочных выработок / Давыдов С. Я., Валиев Н. Г., Апакашев Р. А., Бойков И. С.; заявитель ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»; заявл. 28.05.2021.
3. Расчет нагрузки со стороны кровли (<http://industry-portal24.ru/gornorazvedochnye-raboty/1567-raschet-nagruzki-so-storony-krovli.html>).

4. **Пат. 143916 Российская Федерация.** Анкер для упрочнения угольного пласта / Валиев Н. Г., Белов В. А., Давыдов С. Я., Апакашев Р. А. — № 2014108700; заявл. 05.03.2014; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19.

5. **Давыдов, С. Я.** Определение повышенного горного давления в осадочных породах глинистой формации / С. Я. Давыдов, В. А. Белов, А. Д. Голотвин // Новые огнеупоры. — 2014. — № 3. — С. 19.

6. **Пат. 2737757 Российская Федерация.** Стяжная анкерная крепь горных выработок / Валиев Н. Г., Беркович В. Х., Пропп В. Д., Агарков И. А., Шадрин Д. М. — № 200111665; заявл. 20.03.2020; опубл. 02.12.2020, Бюл. № 34. ■

Получено 15.06.21

© С. Я. Давыдов, Р. А. Апакашев, Н. Г. Валиев, В. А. Старцев, 2021 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Тесна 2022 — 27-я международная выставка технологий и оборудования для керамической промышленности

27–30 сентября 2022 г.

г. Римини, Италия

Tecnargilla будет проходить в выставочном центре Римини в соответствии с традицией, которая существовала ранее. Принимая во внимание текущую международную ситуацию, единственный способ обеспечить высокий уровень ведущей мировой выставкой керамических технологий — это поддержание ее обычного двухгодичного формата. По этой причине было принято решение не изменять двухгодичную периодичность выставки, которая традиционно проводится в Римини в четные годы. **Tecnargilla**, организованная Итальянской выставочной группой в сотрудничестве с Acimas, меняет свое название на **Tесна**.



Секторы выставки:

- Сырье и массы, химические изделия и добавки
- Добыча сырья и подготовка, взвешивание и дозирование
- Прессование, формование и литье
- Сушка, обжиг и тепловые системы
- Сортировка, упаковка и паллетизация
- Качество и управление производственным процессом
- Обработка поверхности, инструменты для окончательной обработки и принадлежности
- Лабораторное и измерительное оборудование
- Приспособления для применения сжатого воздуха, электричества, электронной и нагревательной системы
- Огнеупорные материалы, ролики, печная фурнитура и плиты
- Инструменты, запасные части и принадлежности
- Разное: проектирование, консультационные услуги издательства, торговые ассоциации, разные организации и т. д.

<https://en.tecnaexpo.com/>