

Формирование условий надежной эксплуатации анкеров фрикционного закрепления

ЗУБКОВ Антон Анатольевич, д.т.н., генеральный директор,

НЕУГОМОНОВ Сергей Сергеевич, к.т.н., технический директор,

КУТЛУБАЕВ Ильдар Мухаметович, д.т.н., профессор,

КУЛЬСАИТОВ Равиль Вадимович, к.т.н., доцент,

ЗУБКОВ Артем Анатольевич, к.т.н., доцент,

ООО «УралЭнергоРесурс», пр. Металлургов, 12, неж. пом. 12, Магнитогорск, Россия,

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Носова», пр. Ленина, 38, Магнитогорск, Россия,

Аннотация.

Безопасное выполнение работ в горных выработках обеспечивается закреплением обнажаемых поверхностей. Наряду с традиционными анкерными крепями «Изменением №1» к ГОСТ 31559-2012 определены возможность и технические требования к анкерам с фрикционным закреплением. Анализ их конструкций показал, что основной показатель, определяющий надежную эксплуатацию, - несущая способность, определяется как минимальная величина из трех величин нагрузочной способности: стержня анкера, упора на анкере, опорной плиты. Установлено, что несущая способность анкера фрикционного закрепления должна совпадать с нагрузочной способностью упора на анкере. Сохранение исходных показателей нагрузочной способности на весь срок службы обеспечивается нанесением защитных покрытий на все поверхности анкера. В результате выполненных исследований обоснована целесообразность использования покрытия, полученного на основе композиций полиэтилена высокой плотности толщиной 600-800 мкм. Сравнительный анализ стойкости к воздействию концентрированной щелочной и солевой среде показал сохранение прочности при растяжении.

Ключевые слова: анкер с фрикционным закреплением,

Введение

Приоритетным вопросом, решаемым при разработке рудных и пластовых месторождений полезных ископаемых, является обеспечение безопасного производства работ [1, 2]. Наиболее остро эта задача стоит при реализации подземного способа добычи. Безопасность выполнения работ обеспечивается, в первую очередь, закреплением поверхности выработок. Выбор технических решений и реализующих их технологий целесообразно оценивать по показателям:

- а) временным: на возведение крепей, выхода на расчетную нагрузку, срока эксплуатации;
- б) степени механизации выполняемых работ;
- в) совокупных затрат на реализацию.

Долгое время приоритетным способом закрепления было использование рамных крепей [3, ГОСТ 53960-2010]. Возможность применения других анкерных способов закрепления была «узаконена» введением в действие ГОСТ 52042-2003 [4] и ГОСТ 31559-2012 [5]. Введенные стандарты предусматривали закрепление анкеров тремя способами: механическим замковым, химическим, песчано-цементными смесями. По сравнению с рамными крепями, анкерные крепи обладают преимуществами практически по всем отмеченным показателям. Их использование целесообразно при закреплении выработок со сроком эксплуатации до 10 лет.

Новым направлением в креплении анкерами стала реализация патента Murphy Bernard [6]. В основе способа лежит использование трубчатого анкера с незамкнутым профилем и внешним диаметром, превышающим диаметр шпура. Фиксация анкер в шпуре обеспечивается силами трения, создаваемыми упругой деформацией трубчатого стержня. Конструкции такого типа получили общее название Split Set. Способ широко используется во всем мире и получил достаточное число технических проработок [7]. В РФ технические требования назначения к крепи такого типа регламентированы «Изменениями № 1» к ГОСТ 31559-2012, введенными в действие с 01.02.016.

Отечественный и мировой опыт использования крепей разных типов показал, что анкеры с фрикционным закреплением (АФЗ) обладают наибольшей эффективностью по основным показателям [8]. Объем производства и использования данного вида крепи в России неуклонно возрастает, в частности, ООО «УралЭнергоРесурс» с 2006 по 2019 г. увеличило объемы годового производства АФЗ с нескольких десятков тысяч до более миллиона штук. Производство крепей сопровождается совершенствованием конструкции, выбором рациональных параметров и материалов для их изготовления. Выполняются исследования, направленные на повышение несущей способности АФЗ и увеличение срока эксплуатации.

Конструктивные факторы, обеспечивающие надежность АФЗ.

Важным фактором, определяющим безопасную эксплуатацию, является обоснованное назначение несущей способности АФЗ.

Несущую способность АФЗ $P_{на}$ следует определять как наименьшее из двух значений [9]:

$$P_{на} = \min(F_{ед}, P_{ка}),$$

Где $F_{ед}$ — Соппротивление сдвигу анкера в шпуре, кН,

$F_{ка}$ — нагрузочная способность конструкции АФЗ, кН.

Соппротивление анкера сдвигу в шпуре соответствует суммарной силе трения на поверхности контакта

$$F = F. \quad (1)$$

Сила трения определяется состоянием поверхности шпура и величиной силового взаимодействия, величину которого можно рассчитать по методике, изложенной в работе [10].

Нагрузочная способность конструкции АФЗ определяется как минимальная величина из трех составляющих

$$P_{ка} = \min(P_{пл}, P_{ст}, P_{уп}), \quad (2)$$

где $P_{пл}$ — нагрузочная способность опорной плиты,

$P_{ст}$ — нагрузочная способность стержня анкера,

$P_{уп}$ — нагрузочная способность упора выполненного на стержне анкера.

Нагрузочная способность опорной плиты, как правило, определяется опытным путем. В связи с этим для оценки влияния геометрических параметров на нагрузочную способность были проведены экспериментальные исследования. Наряду с плоскими опорными плитами в составе анкерной крепи широко используются плиты с куполообразной формой выступающей части. Такая форма обеспечивает лучшую адаптацию плиты к поверхности выработки.

Для квадратной плиты размером 200*200 мм и толщиной 4 мм были проведены экспериментальные исследования влияния параметров куполообразной формы на ее нагрузочную способность. Варьировалась высота сферической части. Проведенные испытания показали, что при постоянной толщине и внешних габаритах опорной плиты наиболее рациональным является вариант с высотой купола в 34 мм при диаметре сопряжения сфера -

плоскость 122-127 мм. В этом случае нагрузочная способность плиты до начала деформации купола составляет 102 кН.

Нагрузочная способность стержня может быть рассчитана аналитически. Для анкера из стали Ст20 с диаметром d_k — 46 мм, толщиной $f = 3$ мм, шириной паза $b = 12$ мм допускаемая нагрузочная способность с учетом коэффициента безопасности 1,3 составляет ($P_{нл}$) — 96,2 кН.

Нагрузочная способность упора определяется экспериментально. Для упора, сформированного из круглого прутка диаметром 6 мм и приваренного к стержню, допустимая нагрузка $P_{нл}$ составляет 80-90 кН. При формировании дополнительного упора из части стержня анкера допустимая нагрузка возрастает до 94-102 кН.

Из выполненных исследований следует, что наименьшей нагрузочной способностью обладает упор, сформированный на стержне АФЗ. В связи с этим обязательной характеристикой АФЗ, отображаемой в паспорте изделия, должна быть нагрузочная способность упора, представляемая как несущая способность, величина несущей способности анкерной крепи

Обеспечение сохранения несущей способности АФЗ в шахтной среде.

Сохранение исходных значений нагрузочной способности АФЗ в процессе эксплуатации зависит от стойкости элементов конструкции к агрессивному воздействию шахтной среды. В этой ситуации особое значение имеет выбор типа защитного антикоррозионного покрытия металлической конструкции АФЗ.

В настоящее время по ГОСТ 31559-2012 средний срок службы анкерных крепей с защитным покрытием составляет 10 лет [5].

В зависимости от условий эксплуатации для защиты от коррозии крепь покрывают лакокрасочными материалами II-IV групп с предварительной грунтовкой металла. Толщина покрытия при этом составляет 0, 1-0,3 мм.

Условия в шахте при добыче рудных и нерудных ископаемых характеризуется большим разбросом показателя рН подземных вод и грунтов — от 4 до 10 единиц, содержанием солей в воде от миллиграммов до десятков граммов на литр, воздействием блуждающих токов и литотрофных (в том числе железобактерий) бактерий. Кроме того, коррозии способствует и конструктивная особенность АФЗ — трубчатая, открытая для дренажа конструкция его стержня.

В этих условиях эффективным способом защиты АФЗ от коррозии является нанесение толстослойного (более 0,5 мм) покрытия из полимерного материала. Такое покрытие обладает комплексом защитных свойств — химически стойкого, гидроизолирующего, электроизоляционного, эластичного в сравнении с лакокраской. Эти свойства присущи полиолефинам, благодаря чему во многих странах они (преимущественно полиэтилен, как более эластичный) используются для защиты поверхности ответственных объектов, таких как магистральные трубопроводы.

В практике антикоррозионной защиты поверхностей анкерных крепей полиолефиновые покрытия до настоящего времени не применялись. Это было обусловлено отсутствием в России производителей полиолефиновых композиций с высокой адгезией к стали, необходимой для сохранения защитных функций покрытия при установке и эксплуатации крепи. Однако в последнее десятилетие на ряде предприятий (ООО «Новые полимерные технологии», АО «Метаклэй») налажено производство специальных адгезивных добавок — компатибилизаторов («совместителей»).

С учетом шахтных условий для покрытия АФЗ в ООО «УралЭнергоРесурс» разработана композиция на основе полиэтилена высокой плотности, с высокой адгезией к стали (более 150 Н/см). При разработке защитного покрытия учитывались требования устойчивости к УФ-излучению и низким температурам. Данные факторы имеют существенное значение при удаленных поставках и длительном хранении анкеров. В качестве адгезионной добавки в композиции был использован «совместитель», представляющий собой графтсополимер полиэтилена и малеинового ангидрида. В структуре «совместителя» содержатся ангидридные и карбоксильные группы, повышающие сродство покрытия к стали. В качестве красителя и модифицирующей добавки, увеличивающей стойкость к атмосферным воздействиям, использовали диоксид титана.

Для оценки функциональных свойств разработанной композиции (далее — № 1) проведено ее сопоставление с полиэтиленовыми композициями китайских и европейских производителей. Объектами сравнения служили два образца «совместителей» (№ 2, 3) и три полиэтиленовые композиции (№ 4, 5, 6) для нанесения погружным способом в псевдооживленном слое.

Экспериментальные исследования.

Исследование состава композиций методами спектрального анализа.

Исследование композиций методами инфракрасной (ИК) спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) проводили на оборудовании фирмы Bruker (Германия): ИК-Фурье-спектрометр IFS66/S, ИК-Фурье-спектрометр Vertex 80V, КР-Фурье-спектрометр Senterra.

ИК-спектроскопия. В спектрах всех композиций присутствуют полосы колебаний СН₂-групп, характерные для полиэтилена с высокой степенью кристалличности: 719 и 730 см⁻¹, 29 15-2920 см⁻¹, 2847-2850 см⁻¹, 1471 и 1462 см⁻¹.

В ИК-спектрах образцов № 2, 3, 6 присутствует полоса, характерная для валентных колебаний групп C = O в ангидридах кислот (при 1794 см⁻¹ в образце № 6, при 1789 и 1706 см⁻¹ в образцах № 2, 3).

Это указывает на наличие значительного количества привитых C = O групп в структуре полиэтиленов № 2, 3, 6. В спектрах образцов № 1, 4, 5 интенсивность полос данных колебаний незначительна.

КР-спектроскопия. КР-спектры всех композиций соответствуют спектру полиэтилена с достаточно высокой кристалличностью, на это указывают полосы колебаний связей C-C при 1 129 см⁻¹ и полосы колебаний СН₂-групп при 1296 см⁻¹, 1440 см⁻¹, 2882 см⁻¹ и 2848 см⁻¹. В спектрах композиций № 1, 4, 5, 6 имеются полосы при 607 см⁻¹, 444 см⁻¹ и 240 см⁻¹, характерные для диоксида титана (TiO₂). В спектрах материалов № 2, 3 полосы колебаний данного наполнителя отсутствуют.

Результаты спектральных исследований показали — все композиции имеют в качестве связующей основы полиэтилен высокой плотности. Композиции № 2, 3, 6 содержат в структуре полиэтилена привитые C = O группы. Для композиций № 1 и № 4, 5 по данным спектров невозможно сделать однозначный вывод о наличии привитых групп. В композициях № 1, 4, 5, 6 содержится диоксид титана.

Таким образом, полиэтиленовая композиция (№ 1) ООО «УралЭнергоРесурс» близка по характеристикам состава к образцам импортных покрытий.

Экспериментальные исследования механических свойств композиции.

Для испытаний использовали экструдированные стренги композиции диаметром

2 мм. Определяли прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, стойкость к коррозии в водных средах с повышенной кислотностью (рН = 1), щелочностью (рН = 13) и суммарным содержанием хлоридов и сульфатов 100 г/л. После выдержки в указанных растворах в течение 7 дней образцы стренг повторно исследовали на прочность и удлинение при разрыве. Полученные результаты представлены в таблице.

Некоторое снижение прочности (2-3%) и относительного удлинения образцов композиции наблюдали после воздействия кислой среды. В менее агрессивных средах прочностные характеристики остались практически неизменными. Это более высокий результат в сравнении с импортными композициями № 4, 5, 6, для которых снижение прочности при растяжении после недельной выдержки в сильно кислой среде составило 20-27%, а после концентрированных щелочной и солевой среды прочность уменьшилась на 9-10%.

Выводы

Разработанная композиция на основе полиэтилена высокой плотности показала хорошую устойчивость в различных агрессивных средах.

Нанесение полиэтиленовой композиции на внутреннюю и внешнюю поверхности АФЗ, имеющих диаметр менее 50 мм и длину до 3000 мм, традиционными способами оклеивания липкими лентами или экструзией не представляется возможным. Для покрытия АФЗ более рационально использование технологии погружения нагретых заготовок, предварительно очищенных от ржавчины и масел, в псевдосжиженный слой порошковой композиции. Последующее оплавление налипшего термопластичного порошка на поверхности анкера образует равномерное сплошное покрытие с адгезией 170-180 Н/см.

В настоящее время выполняются натурные испытания АФЗ с разработанным адгезивным полиэтиленовым покрытием толщиной 600-800 мкм. Одна партия анкеров помещена на годичное хранение на «открытом воздухе» с амплитудой температур от

—30°С до +25°С. Две других установлены в шпур в мраморе и медно-колчеданных по родах. После завершения годичного испытания крепи с покрытием будут тестироваться на несущую способность и степень распространения коррозии.

Таким образом, условиями, обеспечивающими безопасную эксплуатацию АФЗ, являются: на стадии формирования паспорта изделия — назначением несущей способности, равной нагрузочной способности упора, на стадии изготовления — нанесением защитного покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко В.А., Айнбиндер И.И., Марысюк В.П., Наговицин Ю.Н. Разработка инструкции по выбору типа и параметров крепи выработок рудников Талнаха на основе количественной оценки состояния массива горных пород // Горный журнал. 2018. № 10. С. 101-106.

2. Копытов А.И., Лебедев А.А., Утробин Б.А. Разработка рациональной технологии крепления горных выработок в удароопасных условиях // Вестник Кузбасского государственного технического университета. Выпуск № 1. 2017. С. 10-14.

3. ГОСТ – Р 53960-2010 Крепи Металлические податливые рамные. Крепь трапецевидная. Общие Технические условия. — М.: Стандартиформ, 2011.
4. ГОСТ -Р 52042-2003 Крепи анкерные. Общие технические условия. — М.: Стандартиформ, 2002.
5. ГОСТ 31559-20125. ГОСТ 31559-2012. Крепи анкерные. Общие технические условия. — М.: Стандартиформ, 2013.
6. 1978 US № 4126004.
7. Зубков А.А., Латкин В.В., Неугомонов С.С., ВОЛКОВ П.В. Перспективные способы крепления горных выработок на подземных рудниках // УСЛОВИЯ устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. — М.: горная книга, 2014. Вып. 1. С. 106-117.
8. Komurlu E., Kesimal A., and Colak U. Polyurea type thin sprayon liner coating to prevent rock bolt corrosion. Proc., 8th Asian Rock Mechanics Symp., Japanese Society for Rock Mechanics, Sapporo, Japan, 2014, pp. 1389-1397.
9. Зубков А.А., Калмыков В. Н., Кутлубаев И.М., Найденова М.С. Обоснование характеристик анкерных крепей фрикционного типа // Горный Информационно-аналитический бюллетень (Научно-Технический журнал) № 10. 2019. С. 35-43.
10. Zubkov A.A., Kutlubaeв I.M. and Muhamedjarova M.S. Calculation of Load-bearing Capacity of Tubula Anchor of Friction Type Published under licence by IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 272, Issue 2 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 272 (2019) 022052 doi:10.1088/1755-1315/272/2/022052.