

дирования обеспечивает постоянную обработку 10-метрового участка, расположенного ниже сместителя. То есть, обработку горного массива, именно на участке, примыкающем к геологическому нарушению, где по данным результатов статистического анализа, произошедших внезапных выбросов угля и газа, зарегистрировано до 80% их общего количества. Выемку угля осуществляют после взрывания всех зарядов и проведения контроля эффективности торпедирования.

Торпедирование производится в специально отведенные смены или в выходные дни. Взрывание скважинных зарядов производят из защищенного места на расстоянии не менее 600 м от устья скважины со стороны свежей струи, при этом все рабочие выводятся на расстояние не менее 1000 м на свежую струю. Если невозможно выдержать указанные расстояния взрывание производят с поверхности[3].

Библиографический список

1. **Правила ведения горных работ** на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: Стандарт Минуглепрома Украины - СОУ 10.1.00174088-2005.– Макеевка: МакНИИ, 2005. – 225 с.
2. **Минеев С.П., Ковалевский А.В.** Торпедирование пород кровли при ведении горных работ на выбросоопасных угольных пластах. // Совершенствование технологий строительства шахт и подземных сооружений. Сб. научн. трудов. Вып. 14, Донецк: Норд-Пресс, 2008. – С 17 – 18.
3. **Инструкция по применению сотрясательного взрывания** в угольных шахтах Украины. – Макеевка: МакНИИ, 1994. – 46с.

УДК 691.3.002.3

А.Н. Шашенко, д.т.н., проф. зав. каф. СГМ, В.В. Коваленко, к.т.н., доц., каф. СГМ, НГУ, г. Днепрпетровск, Украина.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Нанотехнологии динамично развиваются в современном обществе, изменяя производственные и технологические процессы, внедряя последние достижения в разных областях деятельности, таких как промышленное, городское и подземное строительство. Рассматривая возможности использования нанотехнологий для шахтного строительства, в настоящее время основной акцент ставится на использовании наномодифицированных материалов крепления.

Длительная эксплуатация подземных выработок с минимальным объемом ремонтных работ возможна при условии соблюдения технологии выполнения строительных работ, соответствия вида крепи имеющимся горногеологическим условиям, а также уровня квалификации рабочих, занятых на выполнении ра-

бот по сооружению выработок. Широкое применение в шахтном строительстве получила металлическая арочная крепь, которая хотя и обладает наиболее высокими технологическими и техническими параметрами, но все-же не может рассматриваться как универсальная. Металл подвергается коррозии, часто весьма значительной, претерпевает структурные изменения, связанные с возникновением усталостных деформаций. С увеличением глубины разработки металлическая крепь в силу технологических несовершенств всё чаще оказывается неспособной обеспечить необходимые условия поддержания выработок. По этой же причине все чаще находят применение иные виды крепи: бетонные, набрызгбетонные, анкерные и их сочетания.

Зачастую, для того, чтобы снизить недостатки одних крепей и использовать достоинства других – используют комбинированные крепи. Однако, даже это при современных материалах и технологиях не позволяет достичь желаемого результата и обеспечить необходимую устойчивость выработки в течение всего срока ее эксплуатации.

Одним из путей решения проблемы обеспечения устойчивости подземных выработок является создание новых конструкционных материалов и адаптации существующих технологий сооружения подземных выработок и возведения крепи к новым возможностям.

Одним из наиболее перспективных видов крепи является комбинация из анкерных болтов, сетки и набрызгбетонного покрытия. Такая крепь является наиболее рациональной с точки зрения геомеханики породного массива и может быть адаптирована к широкому кругу горно-геологических и горнотехнических условий. При этом одним из наиболее гибких, в смысле его совершенствования, элементов такой крепи является набрызгбетон. Следует отметить, что в отдельных случаях замена металлической крепи на комбинированную (анкер-сетка-набрызг) позволяет в 2-3 раза снизить затраты на крепление.

Современные тенденции совершенствования состава материала, методов и средств нанесения набрызгбетона, конструкций крепи определяются, главным образом, возможностью автоматизации процесса набрызга. Изменение состава достигается постепенным переходом на жидкостные ускорители твердения и добавки микрозаполнителей. Введение порошкообразных ускорителей не обеспечивает требуемого качества сухой смеси и вызывает необходимость применения дополнительного смесителя непосредственно у машины для набрызгбетона. В настоящее время в процессе выполнения набрызгбетонных работ чаще наблюдается отказ от ускорителей и переход на специальные быстротвердеющие цементы или на цементы с регулируемым сроком схватывания.

Многочисленными экспериментами [3] установлено, что от содержания заполнителей в значительной степени меняется отскок материала и его прочность. Подбором оптимальных параметров состава и технологии нанесения набрызгбетона (гранулометрия заполнителей, их влажность, марка цемента и его расход, тип добавки-ускорителя, величина водоцементного отношения, давление воздуха и воды, расстояние сопла от поверхности, толщина слоя наносимо-

го материала, опыт сопловщика) оказывается возможно не только повысить прочность набрызгбетона, но и снизить отскок материала, что значительно увеличивает эффективность набрызгбетона по сравнению с другими видами крепи. В литературе имеются сведения, что в отдельных случаях удается снизить отскок по периметру выработки в среднем с 20–25 до 5–10%.

Так, например, с использованием оборудования фирмы SPERNO удается получить минимальный отскок до 15%. Это достигается за счет обеспечения равномерного перемешивания рационально подобранных компонентов. Для бетона класса В35 экспериментально определено, что при водоцементном (В/Ц) отношении, равном 0,42 и крупности заполнителя – 25 мм, удается достичь минимальный отскок смеси при работе на данном оборудовании.

Армирование набрызгбетона микроскопическими волокнами позволяет достичь более высоких прочностных параметров на сжатие и изгиб. Для приготовления фибробетона используются капроновые, стеклянные и стальные волокна диаметром 0,2–0,4 мм, длиной 20–25 мм.

При армировании бетона стальной арматурой в равной или большей степени при сравнении с фибробетоном прочностные показатели железобетонной конструкции будут ниже, т.к. бетон и арматура будут работать отдельно. Заставить бетон работать совместно с металлом можно изменением структуры материала (смешением исходных компонентов) на микро- и нано- уровнях.

Упрочнение набрызгбетона стекловолокном и капроновым волокном впервые начал осуществлять институт ВНИИ ЦветМет (В. С. Воронин). Было установлено, что такой материал имеет повышенную ударную прочность, необходимую при проходке выработок буровзрывным способом.

Проведенные в 70-х гг. прошлого века в США и Англии исследования упрочненного набрызгбетона показали следующее [1,2]. Стальные волокна вводили в количестве 2–2,5% от общего объема сухой смеси (25–28% от массы цемента). По сравнению с контрольными образцами прочность набрызгбетона с добавкой стального волокна изменилась. На растяжение она возросла на 25–30%, на изгиб – на 50–60%, а на сжатие снизилась на 15–20%. Неравномерность изменения прочности объясняется переменностью состава набрызгбетона в связи с отскоком, в котором оказывается высокий процент стальных волокон.

Установлено, что прочность набрызгбетона зависит от количества введенного в смесь волокна, отношения длины нити к ее диаметру, сцепления смеси с волокном. В благоприятных условиях при количестве волокна до 4% от объема смеси прочность набрызгбетона при изгибе удваивается и материал продолжает работать после появления в нем трещин под нагрузкой за счет вступления в работу стального волокна.

Резко увеличивается динамическая и усталостная прочность материала. Установлено также, что сопротивление истиранию набрызгбетона с волокном уменьшается на 20 – 30%.

Наличие волокон приводит к уменьшению отскока материала, поскольку волокна образуют подобие сетки, способствующей процессу наращивания тол-

щины слоя набрызгбетона. Потери самих стальных волокон при отскоке зависят от угла наклона сопла к горизонту: в кровле туннеля достигают 60% от общего объема волокон, на вертикальных стенах падают до 30%. Вместе с тем отскок набрызг-бетонной смеси с добавкой стального волокна примерно в 2–2,5 раза ниже, чем без волокон, и если для обычного набрызгбетона отскок в пределе доходит в кровле до 50%, а в боках до 23%, то при добавке стального волокна он составляет в кровле всего 15–20%, а в стенах снижается до 10%.

Структура набрызгбетонного покрытия по толщине оказывается неравномерной. Так, первые 10–15 мм породы содержат незначительную часть стальных волокон, в средней части покрытие в значительной мере насыщено волокнами, которые располагаются равномерно, а ближе к поверхности уплотнение смеси опять уменьшается.

Уменьшение размера волокон позволяет добиться более равномерной смеси и возможности управлять свойствами материала.

Управлять свойствами набрызгбетона можно и с помощью различных ускорителей схватывания.

Практика применения набрызгбетона для крепи в горных выработках показывает, что для пород с $f=4-5$ достаточно иметь в ранние сроки твердения (2 ч) минимальную прочность покрытия при растяжении (изгибе) 1 кгс/см^2 , что соответствует примерно 5 кгс/см^2 при испытании бетона на сжатие.

Быстрые сроки схватывания вызывают интенсивное отвердевание бетонной смеси (исчезновение с поверхности свободной воды через 1–2 мин после нанесения покрытия). Это свойство существенно повышает адгезию набрызгбетона к наносимой поверхности и когезию нанесенного слоя к последующему. Кроме того, существенно снижается отскок материала при нанесении покрытия и возникает возможность значительно увеличить толщину одновременно наносимого слоя.

В результате экспериментов, проведенных в шахтных условиях [3], установлено, что отскок материала при использовании быстротвердеющих и быстросхватывающихся цементов (ББЦ) составляет 5–8% по сравнению с 20–25% при обычной технологии безопалубочного бетонирования, а толщина слоя – соответственно 15–20 см по сравнению с 3–5 см.

Все быстротвердеющие цементы характеризуются более высокой тонкостью помола и создаются на основе смеси клинкера, минеральной активной добавки и ускорителя схватывания. При этом повышается активность цемента, значительно уменьшается количество пустот в бетоне, уменьшается время схватывания. Повышение тонкости помола цемента обеспечивает бетону большую прочность, плотность, водонепроницаемость. В современных условиях тонкость помола должна обеспечиваться на наноуровне.

Использование цемента более высокой тонкости помола в сочетании с волокнами позволит получить наноструктуры с контролируемыми свойствами. Строительные материалы, созданные с использованием нанотехнологий, будут

характеризоваться физико-механическими параметрами, сочетающими в себе свойства твердых материалов и металлов.

Внедрение нанотехнологий в процесс производства конструкционных материалов является экономически эффективным даже при высокой себестоимости работ высокотехнологических работ, связанным с переработкой сырья.

Таблица 1

Прочность бетонов, изготовленных из отходов различной степени измельчения с цементом ПЦ 500

Удельная поверхность, см ² /г	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
Предел прочности на сжатие, МПа	0,1	0,4	1,0	2,0	2,6	3,5	4,1

Как видно из таблицы, прочность бетонов возрастает в несколько раз. Это в свою очередь позволяет использовать значительно меньший объем наноструктурированных строительных материалов при обеспечении необходимой конструктивной несущей способности, а соответственно будут меньшие затраты связанные с транспортировкой исходных компонентов. Это также положительно отразится на экологической обстановке, т.к. использование нанотехнологий позволит сократить количество карьеров для добычи строительных материалов, уменьшит запыленность воздуха, снизит затраты электроэнергии и т.п.

Нанотехнология измельчения исходных материалов реализуется в роторно-пульсационных аппаратах (РПА) и обеспечивает повышение дисперсности обрабатываемых материалов при существенно меньших энергозатратах (табл. 2).

РПА представляют собой устройства для приготовления высокодиспергированных и гомогенизированных жидких эмульсий и суспензии, многокомпонентных вязкопластичных составов (в том числе из трудносмешиваемых жидкостей) путем пульсационных, кавитационных и других гидродинамических воздействий. РПА сочетает в себе принцип работы дисмембраторов, дезинтеграторов, коллоидных мельниц и центробежных насосов.

Таблица 2

Сравнительная эффективность домола цемента в различных измельчителях

Характер домола и измельчителя	Удельная поверхность, см ² /г	Удельные энергозатраты на 1 т цемента, кВт час
Цемент без домола	3000	0
Сухой в шаровой мельнице	4500	40
Сухой в вибромельнице	4650	20
Мокрый в РПА	5000	8,8

Диспергирование сырьевых материалов в РПА до долей микрона и тонкости измельчения $8000 \text{ см}^2/\text{г}$ и более значительно повышает эффективность многих современных технологий, снижает энергопотребление, улучшает технологические и изменяет физико-химические свойства материалов (табл. 1) [4].

Использование такого набрызгбетона в сочетании с сеткой и анкерами позволит с высокой степенью надежности использовать такую крепь, как альтернативу металлической.

Библиографический список

1. **Palmer P.** Developments in sprayed concrete techniques.— *Tunnels and Tunnelling*, 1976, July, p. 37—38.
2. Steel fibres in gunite an appraisal.— *Tunnels and Tunnelling*, 1975, July, p. 74–75.
3. **Е.В. Стрельцов, Э.В. Казакевич, Д.И. Пономаренко** Крепление горных выработок угольных шахт набрызгбетоном. Москва: Недра, 1976. – Стр. 96-97.
4. **Чистов Ю.Д., Краснов М.В.** Рециклинг пылевидных отходов дробления бетонного лома сносимых зданий // *Материалы Международной научно-технической конф. «Экология урбанизированных территорий.* – М.: Изд-во Прима-Пресс. - М.: 2006, с. 87.