

УДК 622.257.1:622.273

## Об использовании тампонажного фиброраствора на основе полимера

Страданченко С. Г., Шубин А. А.

*Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (НПИ),  
Шахты, Россия*

---

### Аннотация

Обоснованы деформационные характеристики тампонажного материала, полученного на основе композиций из полимерных волокон. Текущие испытания показывают обнадеживающие результаты – при использовании полипропиленовых волокон повышается прочность бетона на срез, что может дать альтернативный метод проектирования соединений элементов конструкций из растворов и бетона.

---

Закрытие особо убыточных и нерентабельных шахт и разрезов коренным образом меняет характер нагрузки на окружающую среду в угледобывающих регионах. С одной стороны, прекращаются отчуждения земли под породные отвалы, подработка поверхности, выбросы угольной пыли и метана в атмосферу с отработанным шахтным воздухом, снижается загрязнение атмосферы от породных отвалов и котельных, водных ресурсов от водоотливных систем, уменьшается антропогенная нагрузка. Но, с другой стороны, на ликвидируемых шахтах продолжаются горно-механические процессы, связанные с подработкой горного массива, причем их характер изменяется в связи с полным или частичным затоплением шахт, продолжается оседание поверхности, образование карстовых полостей, на ряде шахт отмечались тектонические явления в виде подземных толчков. Возможны провалы земной поверхности над непогашенными горными выработками, особенно при небольшой глубине горных работ на закрываемых шахтах.

Одним из методов противодействия таким последствиям является заполнение старых горных выработок или крупных подземных пустот тампонажными растворами.

Успех проведения противопустотных мероприятий во многом определяется изучением горногеологических условий, но в большей степени, научно-обоснованным выбором технологических параметров процесса закладки и тампонажа пустот. При ликвидации карстов различных видов весьма важно достичь высокой степени заполнения пустот закладочным материалом, прекращения фильтрационных перетоков рассолов, упрочнения горного массива.

Обычные смеси, применяемые для закладки подземных пустот, обладают большой деформативной способностью, а также незначительной прочностью, что в конечном итоге предопределяет сдвиги массивов горных пород после ликвидации указанных полостей.

Поэтому в качестве основных закладочных составов для консервации предприятия рекомендуются смеси с наличием армирующего элемента, таковым является, например, дисперсная фибра из стали или полипропилена.

Полипропиленовые волокна (ППВ) – это олефиновые волокна, изготовленные из полимеров или сополимеров пропилена. Расплавленный полипропилен подвергается штамповке с вытяжкой, образуя ровные листы или волокна. Затем из него можно получить два типа ППВ. Ровные листы расщепляются на мелкие волокнистые элементы, из которых состоит основная структура, и разрезаются на части различной длины. Эти фибриллированные волокна в поперечном сечении имеют форму, близкую к прямоугольной. Волокна с круглым поперечным сечением также разрезаются на части различной длины для получения моно- и мультифиламентных волокон.

Полипропиленовые волокна – чистое, безопасное, простое в использовании, химически нейтральное и совместимое со всеми вяжущими веществами и добавками волокно.

Количество, тип и длина используемых волокон зависит от требований проекта. Обычная дозировка составляет 0,1 % по объему или 0,6–0,9 кг/м<sup>3</sup> раствора. Для удобства в применении ППВ поставляется в растворимых мешках по 0,6–0,9 кг. На каждый кубометр раствора добавляется один мешок – или в смесительную установку на бетонном заводе или прямо в автобетономешалку. Достаточно всего 5 минут смешивания в автобетономешалке для равномерного рассеивания без образования комков и скоплений.

Более высокая дозировка, особенно фибриллированных волокон, используется в сборном бетоне, торкрет-бетоне и других видах бетона, где важна прочность и устойчивость к раскалыванию.

При дозировке 0,1–1,0 % ППВ не обеспечивает первичного армирования. Теория показывает, что количество волокна, которое выдерживает нагрузку после растрескивания – критический объем волокна – для ППВ составляет примерно 2,0 % по объему. Такое количество трудно ввести в смесь и оно неприемлемо с коммерческой точки зрения. Однако, дозировка 0,1–1,0 % ППВ по объему действительно дает определенные преимущества раствору как в пластичном, так и в затвердевшем состоянии. Волокна оказывают эффект немедленно, повышая сцепление смеси, препятствуя оседанию крупных, тяжелых частиц при уплотнении и облегчая подачу смеси насосом.

ППВ повышает способность раствора к деформации без разрушения в критический период схватывания, что мешает образованию микротрещин внутри застывшего тела, а также сдерживает расширение видимых поверхностных трещин, возникших при пластической усадке. ППВ препятствует перемещению и последующему испарению воды, повышая гидратацию цемента на поверхности, но не заменяет надлежащих процедур выдерживания раствора.

Для анализа влияния армирования полипропиленовыми фибрами на прочность композита нами были проведены следующие исследования. В качестве базовых образцов, моделирующих свойства тонкостенных растворополимерных конструкций приняты пластины размерами  $d \times 9 \times 40$  см, где толщина плит  $d = 1$  см или равна толщине стенок или полок конструкции. В наших исследованиях такие образцы испытывали с помощью специальных приспособлений на осевое растяжение, на изгиб в положениях «плашмя» и «на ребро». На сжатие испытывали полые призмы, склеенные из указанных пластин. На образцах определялась также усадка.

Образцы изготавливали из мелкозернистого бетона группы А классов В25...В40 с содержанием полипропиленовой фибры  $\eta = 0, 1,2, 2$  и  $2,8$  % объема композита. Для фиброармирования использовали щелочестойкое волокно, выпускаемое в виде отрезков длиной 40...60 мм. Прочность моноволокон диаметром 10...15 мкм составляла 1760...2200, а комплексных нитей – 712...732 МПа. Цементно-песчаная матрица имела состав Ц:П = 1:1 на цементе марок 400 и 500 при расходах до 800 кг/м<sup>3</sup>, В:Ц = 0,45 и песке с модулем крупности до  $M_k = 2,5$ .

Испытания показали, что нагрузка образцов при растяжении и изгибе полипропиленового фиброраствора в момент образования трещин возрастала до 10 % с увеличением  $\eta$  в пределах 1,2...2,8 %. При этом предельные относительные деформации растяжения раствора к моменту обнаружения первых трещин шириной раскрытия 3...5 мкм составили до  $20 \cdot 10^{-5}$ ... $30 \cdot 10^{-5}$ , что в 2...2,5 раза больше, чем предельная растяжимость раствора-матрицы.

Первые силовые трещины при изгибе образовывались, как правило, у поверхностных пор, а при увеличении нагрузки на поверхности образца появлялось большое число штриховых трещин, объединяющихся в предельной стадии в сплошные трещины с шагом от 3 до 8 мм при  $\eta = 2,8$  % и от 20 до 30 мм при  $\eta = 1,2$  %. Для определения трещиностойкости опытных образцов использовали метод разнообразных тензодатчиков, микроскоп и трубку Бринеля.

Наибольшая прочность при сжатии полипропиленового фиброраствора (при абсолютных значениях 29...32 МПа) получена при  $\eta = 2$  %; она превышала прочность раствора-матрицы всего на 10 %. При увеличении  $\eta$  до 2,8 % уплотнение полимер-фибровой смеси несколько затруднялось, прочность оставалась близкой к прочности бетона-матрицы. Для практических

расчетов прочность полимер-раствора при сжатии и раствора-матрицы можно принимать равными. Коэффициент Пуассона полимерфиброраствора находится в пределах от 0,20 до 0,23.

Прочность раствора с дисперсными волокнами из полипропилена при растяжении  $R_p$  при опытных значениях 3,7...6,04 МПа увеличивалась с повышением прочности матрицы и при увеличении содержания в ней фибры. При  $\eta = 2,8\%$  она в 2...2,3 раза больше прочности раствора-матрицы. При переходе от класса В20 к В40  $R_p$  увеличилась на 20%.

Могут иметь место два случая разрушения изгибаемых или растянутых элементов из полимерфиброраствора: исчерпание несущей способности при нагрузке трещинообразования, когда количество фибры мало (усилие разрыва матрицы больше усилия, воспринимаемого только фиброй), и разрушение при нагрузке, превосходящей, нагрузку трещинообразования. Во втором случае, который следует считать основным для конструкции и изделий, прочность раствора с наполнителем из волокнистого полимера при растяжении предлагается определять по формуле

$$R_p = \eta m \varphi R_f v_0 v_l,$$

где  $\eta$  – коэффициент армирования, определяемый отношением объема фибры к объему композита;  $R_f$  – прочность при разрыве моноволокна;  $m$  – коэффициент, учитывающий влияние прочности матрицы на прочность композита, принимаемый по данным рис. 1;  $v_0$  – коэффициент, учитывающий ориентацию волокон, принимаемый в пределах 0,3...0,375, увеличивающийся при уменьшении толщины конструкции;  $v_l$  – коэффициент, учитывающий влияние длины волокон (при длине волокна 40 мм), по экспериментальным данным изменяется в пределах 0,87...0,92;  $\varphi$  – коэффициент, отражающий влияние агрегатного состояния армирующего волокна. По опытным данным автора, для комплексной нити из 200 моноволокон можно принимать  $\varphi = 0,35...0,42$ .

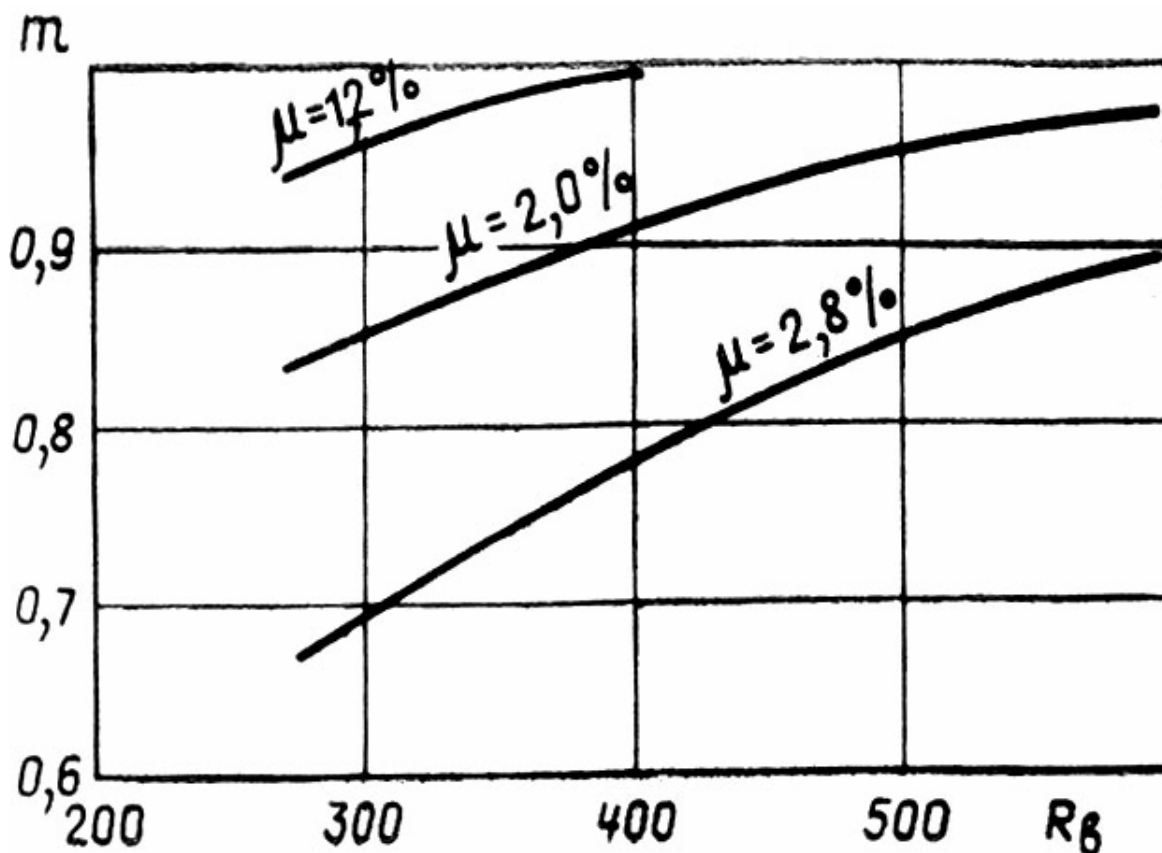


Рис.1. Значения коэффициента влияния прочности матрицы на прочность композита

Высота сжатой зоны при изгибе пластин перед разрушением с увеличением  $\eta$  уменьшалась с 0,45 до 0,38-d, а напряжения в крайнем волокне изменялись от 12,4 до 23 МПа. Эпюра напряжений в сжатой зоне сечения треугольная, а в растянутой – криволинейная, занимающая среднее положение между трапециидальной и прямоугольной.

Для практических расчетов прочности нормальных сечений изгибаемых полимерфиброрастворных элементов с достаточной степенью точности удобнее принимать прямоугольные эпюры напряжений в сжатой и растянутой зонах, вводя коэффициент полноты эпюры напряжений в растянутой зоне.

Кроме того многочисленные исследования, показали, что ППВ в количестве 0,1 % по объему обеспечивает устойчивость к выступанию воды, оседанию, растрескиванию при пластической усадке, истиранию, циклам замораживание/оттаивание, сопротивление удару, а также огнестойкость, остаточную прочность, антимикробную защиту и пониженную проницаемость.

Вышеописанные преимущества означают, что ППВ можно использовать во всех областях применения раствора и бетона. Преимущества раствора с ППВ заключаются в лучшем сцеплении смеси, что ускоряет укладку. При высокой дозировке более длинных фибриллированных волокон его прочность может сравниться с бетоном, содержащим 25–30 кг стальной арматуры. Текущие испытания показывают обнадеживающие результаты – при использовании ППВ в количестве 1 % по объему повышается прочность бетона на срез, что может дать альтернативный метод проектирования соединений элементов конструкций из растворов и бетона.

### **Библиографический список**

1. Гамаюнов В. В., Будник А. В. Основные виды и причины нарушений крепи вертикальных стволов угольных шахт // Технология и проектирование подземного строительства: Вестник. – Донецк: Норд-Пресс, 2003. – С. 91–97.
2. Будник А. В., Лапко А. Н., Мякшин А. Д. Эффективные технические решения при замене расстрелов в зоне пльвунов // Современные проблемы шахтного и подземного строительства. Вып. 6. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – С. 98–101.
3. Ягодкин Ф. И., Прокопов А. Ю., Богомазов А. А. Исследование взаимодействия крепи стволов с анкерными конструкциями крепления расстрелов // Горный информационно-аналитический бюллетень – М.: МГГУ, 2006. – Тематическое прил. «Физика горных пород» – С. 335–340.
4. Доржинкевич И. Б. Новые конструкции армировки стволов шахт и методика их расчета // Шахтное строительство. – 1980. – № 11. – С. 26–29.

© Страданченко С. Г., Шубин А. А., 2008