



**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО СЖАТИЯ НА ФИЛЬТРАЦИЮ ГАЗА
ЧЕРЕЗ ТРЕЩИНУ, ЗАПОЛНЕННУЮ АКРИЛАТНЫМ СОСТАВОМ**

Л. А. Рыбалкин, Т. В. Шилова

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: Leonid.Rybalkin@gmail.com,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Показано, что перспективным способом увеличения проницаемости угольного пласта является его гидроразрыв, а создание разветвленной сети дренажных трещин способствует увеличению газоотдачи угля. Отрицательный фактор — прорыв образующихся трещин в горные выработки. Для предотвращения этого предложено экранировать горные выработки дополнительной трещиной, заполненной акрилатным полимером с твердыми включениями, препятствующими смыканию берегов трещины под действием горного давления. Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости газопроницаемости акрилатного экрана от горного давления.

Угольный пласт, гидроразрыв, изоляционный экран, акрилатный состав, проницаемость

**STUDY OF MECHANICAL COMPRESSION EFFECT ON GAS FILTRATION THROUGH THE CRACK
THROUGH THE CRACK FILLED WITH ACRYLATE COMPOSITION**

L. A. Rybalkin and T. V. Shilova

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: Leonid.Rybalkin@gmail.com, Krasnyi pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

Hydraulic fracturing is a promising method used for increasing the permeability of a coal seam. Formation of an extensive network of drainage cracks contributes to increased gas recovery of coal. In this case, a negative factor is the breakthrough of cracks formed in the mine workings. In order to challenge this problem, it is proposed to screen mine workings with an additional crack filled with acrylate polymer containing solid inclusions, which prevents the closure of crack edges under the impact of rock pressure. The paper presents the results of experimental studies of acrylate screen gas permeability dependence on rock pressure.

Coal seam, hydraulic fracturing, insulation screen, acrylate composition, permeability

С развитием горнодобывающей техники произошло увеличение темпа и глубины подземной отработки метаноносных угольных пластов. Для достижения степени извлечения метана, необходимой для безопасной и экономически выгодной работы угледобывающей шахты, требуется проводить предварительную дегазацию пластов скважинами и в ряде случаев использовать дополнительные способы интенсификации извлечения газа. Одним из них является гидроразрыв пласта (ГРП) [1, 2], который включает изолирование интервала дегазационной скважины и нагнетание в него рабочей жидкости под давлением вплоть до образования разрыва горной породы. В условиях постоянно меняющейся геомеханической обстановки в зоне ведения горных работ, естественной трещиноватости и низкой прочности угля гидроразрыв может иметь сложную форму с выходом в горную выработку через пересечение сообщающихся с выра-

боткой естественных трещин или напрямую. Это усиливает перетоки метана и воздуха между зоной дренирования дегазационной скважины и воздушным пространством. Ликвидация таких перетоков нанесением полимерного состава на протяженную площадь поверхности выработки — трудозатратная и материалоемкая операция. Более перспективно создание между выработкой и рабочим интервалом дегазационной скважины тонкого изоляционного экрана [3, 4].

В настоящей работе приведены результаты лабораторных исследований фильтрации азота через пористый цилиндрический образец, содержащий поперек фильтрационного потока экран — разрыв сплошности, заполненный акрилатным составом. Образец подвергали боковому и осевому сжатию, имитирующему напряженное состояние массива горных пород. Исследование противофильтрационных экранов показало необратимое образование в них проницаемых “окон” — контактных площадок из-за частичного смыкания берегов разрыва при сжатии образца.

ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ И ХОД ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для проведения экспериментов использованы цилиндрические образцы из пористого среднемягкого абразивного материала с керамической связкой и зернистостью 250–315 мкм. Применялись составные образцы из двух одинаковых цилиндров высотой 45 мм и диаметром 45 мм каждый (рис. 1а).

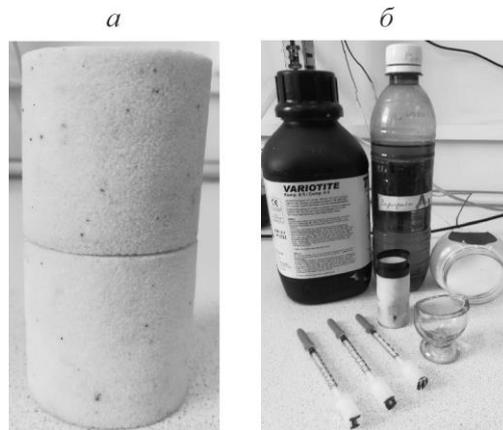


Рис. 1. Составной пористый образец с поперечным разрывом (а) и трехкомпонентный акрилатный состав VARIOTITE (б)

Полость противофильтрационного экрана — разрыв сплошности в образце — заполняли гидрогелем VARIOTITE (ТРН Vausysteme GmbH, Германия) (рис. 1б). Это трехкомпонентный эластичный гель на основе метакрилата, способный к набуханию в воде (поглощение воды 100 % к объему полимера), удлинение на разрыв которого составляет 1000 %.

Эксперименты выполнялись на лабораторной установке, испытательная камера которой обеспечивает отдельное регулирование осевого и равномерного бокового сжатия составного цилиндрического образца, прокачку через него газа [5]. Объем профильтровавшегося газа измерялся автоматической электронно-оптической системой [5]. Результаты измерений объема и входного давления газа регистрировались в памяти персонального компьютера.

В первой (фоновой) серии экспериментов полость разрыва в составном образце не имела наполнителя. Осевая и боковая нагрузки были одинаковы — от 1 до 5 МПа, перепад давления между торцами образца — 0.005–0.05 МПа.

Во второй серии экспериментов полость разрыва заполняли акрилатным составом. Для этого части образца состыковывали между собой торцами с зазором 0.2–0.6 мм и место стыковки обматывали изолентой. Приготовление акрилатного состава проводили в стеклянной емкости с учетом времени его жизнеспособности (3–4 мин). Этого времени хватало для того, чтобы набрать необходимое количество акрилата в шприц и сделать инъекцию проколом изо-

ленты в полость разрыва. После отверждения состава образец помещали в испытательную камеру. Значения осевого и всестороннего сжатия устанавливали такими же, как в первой серии. Перепад давления на торцах образца увеличили до 0.1–0.5 МПа.

Коэффициент газопроницаемости определяли из условия стационарного характера фильтрации при линейном потоке газа по формуле [6, 7]:

$$K_r = \frac{2 \cdot 10^4 V \mu_a P_2}{t S} L \frac{1}{(P_1^2 - P_2^2)},$$

где K_r — коэффициент газопроницаемости, 10^{-3} мкм² (МД); P_1 — давление на входе испытательной камеры, МПа; P_2 — давление на выходе испытательной камеры (равно атмосферному давлению), МПа; V — объем газа, прошедший через модель см³; t — время фильтрации, с; μ_a — динамическая вязкость азота при условиях фильтрации, мПа·с; S — площадь сечения, мм², L — длина модели, мм.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты первой серии экспериментов по исследованию проницаемости составного образца с поперечным разрывом показали снижение проницаемости при увеличении всестороннего сжатия модели (рис. 2а). Повышенные значения K_r на малых градиентах давления фильтрации газа связаны с эффектом Клинкенберга — проскальзыванием молекул газа в пористых средах [8]. Во второй серии экспериментов зависимость проницаемости от сжатия иная, чем в первой серии (рис. 2б). При увеличении осевого сжатия она растет, влияние бокового сжатия аналогично наблюдаемому в первой серии. Это объясняется тем, что увеличение осевого сжатия ведет к повышению площади контактов между берегами разрыва, а контактные площадки образуют проницаемые “окна” в акрилатном экране.

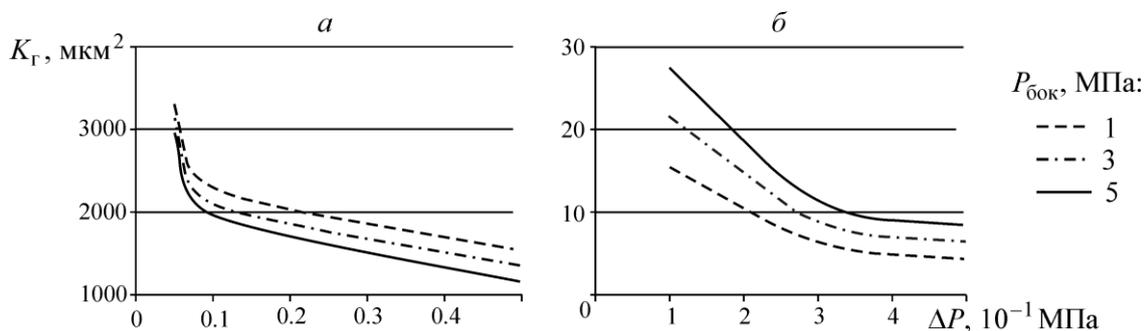


Рис. 2. Зависимость коэффициента проницаемости составного пористого образца с разрывом от всестороннего сжатия и перепада давления: а — без наполнителя; б — заполненного акрилатным составом VARIOTITE

Для снижения площади контактных зон при сближении берегов трещины предложено добавлять в акрилатный состав расклинивающий материал (проппант) низкой плотности — полые алюмосиликатные микросферы [9, 10]. Предварительные эксперименты показали, что смесь акрилата с проппантом улучшает изоляционные свойства экрана, но усложняет закачку состава в его полость по рукавам высокого давления. Запланировано проведение лабораторных исследований с наполнением экранов смесью акрилатов и твердых включений (проппантов).

ВЫВОДЫ

Увеличение механического сжатия противofильтрационного экрана, заполненного акрилатным составом, ведет к повышению его проницаемости. Это связано с образованием каналов фильтрации в местах контактов берегов трещины разрыва вследствие их сближения друг к другу. Для решения указанной проблемы предложено добавлять в акрилатный состав расклинивающий материал (проппант).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Kurlenya M. V., Serdyukov S. V., Patutin A. V., and Shilova T. V.** Stimulation of Underground Degassing in Coal Seams by Hydraulic Fracturing Method, *Journal of Mining Science*, 2017, vol. 53, no. 6, pp. 975–980. [**Курленя М. В., Сердюков С. В., Патутин А. В., Шилова Т. В.** Интенсификация подземной дегазации угольных пластов методом гидроразрыва // ФТПРПИ. — 2017. — № 6. — С. 3–9.]
2. **Serdyukov S. V., Degtyareva N. V., Patutin A. V., and Shilova T. V.** Open-hole multistage hydraulic fracturing system, *Journal of Mining Science*, 2016, vol. 52, no. 6, pp. 1210–1215. [**Сердюков С. В., Дегтярева Н. В., Патутин А. В., Шилова Т. В.** Технический комплекс для множественного локального гидроразрыва породного массива в необсаженных скважинах // ФТПРПИ. — 2016. — № 6. — С. 180–186.]
3. **Serdyukov S. V., Shilova T. V., and Drobchik A. N.** Polymeric insulating compositions for impervious screening in rock masses, *Journal of Mining Science*, 2016, vol. 52, no. 4, pp. 826–833. [**Сердюков С. В., Шилова Т. В., Дробчик А. Н.** Полимерный изоляционный состав для создания противодиффузионных экранов в породном массиве // ФТПРПИ. — 2016. — № 4. — С. 196–203.]
4. **Shilova, T. V. and Serdyukov S. V.** Protection of operating degassing holes from air inflow from underground excavations, *Journal of Mining Science*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 1049–1055. [**Шилова Т. В., Сердюков С. В.** Защита действующих дегазационных скважин от поступления воздуха из горных выработок через вмещающие породы // ФТПРПИ. — 2015. — № 5. — С. 179–186.]
5. **Serdyukov S. V., Shilova T. V., and Drobchik, A. N.** Laboratory Installation and Procedure to Determine Gas Permeability of Rocks, *Journal of Mining Science*, 2017, vol. 53, no. 5, pp. 954–961. [**Сердюков С. В., Шилова Т. В., Дробчик А. Н.** Лабораторная установка и методика определения газопроницаемости горных пород // ФТПРПИ. — 2017. — № 5. — С. 172–180.]
6. **GOST 26450.2-85.** Methods for determining the absolute permeability of gas at stationary and non-stationary filtration, Moscow, Standards Publishing House, 1985, 17 pp. (in Russian) [**ГОСТ 26450.2-85.** Методы определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 17 с.]
7. **Pecherin V. N. and Demchenko N. P.** Determination of permeability of rocks, Ukhta: UGTU, 2014, 11 pp. (in Russian) [**Печерин В. Н., Демченко Н. П.** Определение проницаемости горных пород // Ухта: УГТУ, 2014. — 11 с.]
8. **Fathi E., Tinni A., and Akkutlu I. Y.** Correction to Klinkenberg slip theory for gas flow in nano-capillaries, *Int. J. Coal Geol.*, 2012, vol. 103, pp. 51–50.
9. **Serdyukov S. V. and Shilova, T. V.** Proppant and working fluids for creating drainage channels in the coal seam by the method of hydraulic fracturing, *Interexpo Geo-Siberia*, 2018, vol. 6, pp. 188–196. (in Russian) [**Сердюков С. В., Шилова Т. В.** Проппант и рабочие жидкости для создания дренажных каналов в угольном пласте методом гидроразрыва // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2018. — Т. 6. — С. 188–196.]
10. **Shilova T. V. and Rybalkin, L. A.** Lightweight proppant to increase fracture permeability of fractures in coal seams, *Mining Information Analytical Bulletin*, 2018, no. S49, pp. 106–116. (in Russian) [**Шилова Т. В., Рыбалкин Л. А.** Легкий проппант для повышения проницаемости трещин гидроразрыва в угольных пластах // ГИАБ. — 2018. — № S49. — С. 106–116.]