

УДК 622.411.332:533.17

В. Г. Смирнов, к.ф.-м.н.; В. В. Дырдин, д.т.н., проф.; И. С. Елкин, к.т.н.
(кафедра физики ФФП КузГТУ)

ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ ТРЕЩИН В КРАЕВОЙ ЗОНЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА.

Одной из основных задач обеспечения безопасной технологии подземной разработки угольных пластов является прогнозирование возможных опасных газодинамических явлений, приводящих к стремительному разрушению краевой зоны угольного пласта и выделению большого количества газа метана. Повышение достоверности прогноза возможно только при глубоком теоретическом изучении механизма [1, 3, 4] зарождения опасных газодинамических явлений.

При попадании участка угольного пласта в зону влияния опорного давления в нем происходит перераспределение напряжений, приводящее к образованию крупных и мелких трещин, двояко влияющих на вероятность формирования газодинамического явления.

С одной стороны, наличие магистральных трещин, ориентированных параллельно оси забоя и выходящих на поверхность забоя выработки, способствует постепенной фильтрации газа из массива угля и дегазации призабойного объема угля, что снижает опасность газодинамических явлений.

Однако, в случае формирования большого количества мелких изолированных трещин, в них происходит накопление метана, который десорбируясь из объема угля, прилегающего к трещине, переходит в свободную форму, но остается в замкнутом объеме. Запас свободного метана, может быть внезапно выброшен в выработку при разрушении краевой зоны. В то время как выделение метана из сплошного объема угля требует достаточно большого времени, определяемого процессами десорбции и диффузии метана из пор к поверхностям обнажения.

Ориентация формирующихся трещин и их раскрытие зависит от величины упругих и неупругих напряжений, действующих в сплошной среде в окрестности трещины. Чтобы быть изолированными, трещины должны быть ориентированы параллельно фронту забоя выработки. Образование таких трещин происходит в областях пласта, где возникает растягивающее напряжение, ориентация которого почти перпендикулярна фронту выработки.

Рассматривая распределение напряжений, следует учитывать, что в краевой зоне угольного пласта возникают тангенциальные (сдвиговые) деформации в связи с касательными силами трения, действующими по границам пласта с вмещающими породами.

Помимо сил трения со стороны почвы и кровли на угольный пласт действуют также сжимающие напряжения, направленные по нормали к границе угольного пласта. Величина сжимающих напряжений – σ соизмерима с γH – горное давление ненарушенного пласта.

Величину тангенциальных напряжений можно оценить исходя из баланса сил трения и горизонтальной проекции сил горного давления, спроецированных на ось забоя: $\tau = \gamma H(R/2L)$, где R – радиус выработки, а L – размер зоны влияния выработки. Сдвиговые напряжения имеют наибольшее значение на границе зоны упругого и неупругого деформирования угольного пласта и убывают вглубь угольного массива.

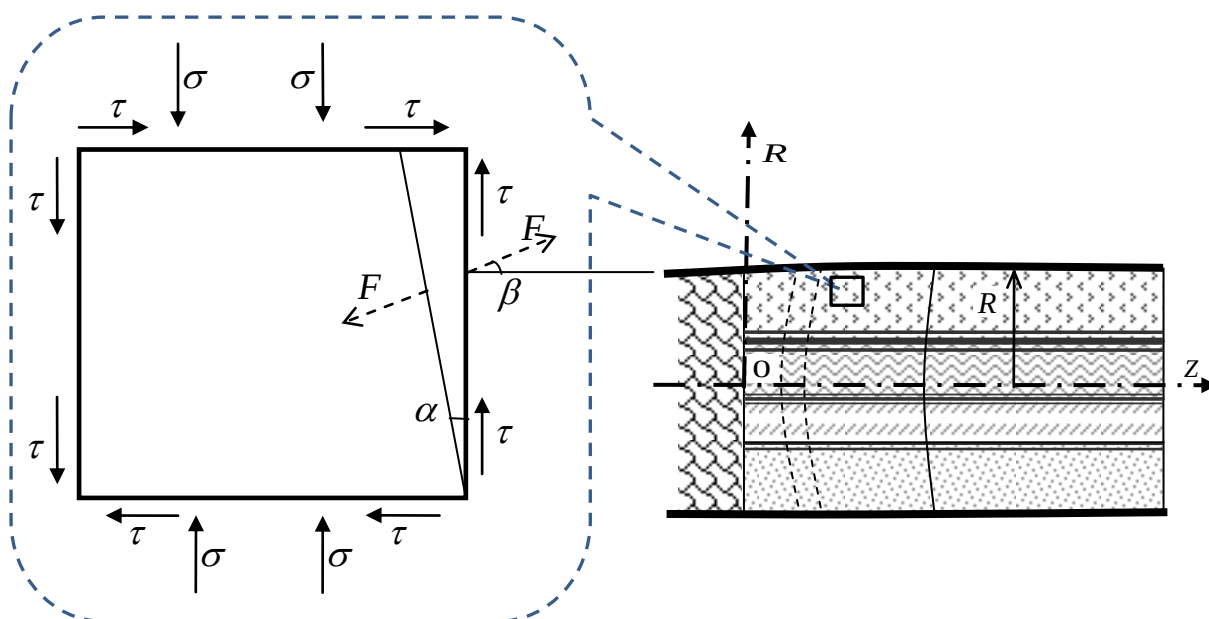


Рис. 1. Суперпозиция сдвиговых и сжимающих напряжений

Рассмотрим суперпозицию сдвиговых и сжимающих напряжений (рис.1.), для чего в деформированной среде выделим куб, достаточно маленький, чтобы можно было считать напряжения вдоль каждой его грани постоянными. Сдвиговые деформации создаются тангенциальными напряжениями τ , приложенными вдоль каждой из граней [2], как показано на рис. 1. Куб выбран так, что тангенциальные напряжения, перпендикулярные плоскости рисунка, отсутствуют, а нормальные напряжения, перпендикулярные рисунку, одинаковы. Дополнительно к сдвиговым напряжениям куб подвержен (рис. 1) вертикальным сжимающим напряжениям.

Через ребро куба проведем плоскость под углом α к одной из граней и рассмотрим полученную треугольную призму. Призма находится в равновесии, значит сила, действующая на наклонную грань, равна (противоположна по направлению) векторной сумме сил, действующих на остальные грани [2]. По поверхностям, совпадающим с участками

граней куба, действуют силы: вертикальная $F_y = \tau a^2 - \sigma a^2 \operatorname{tg} \alpha$, горизонтальная $F_z = \tau a^2 \operatorname{tg} \alpha$, угол между горизонтальной осью и вектором силы удовлетворяет условию: $\operatorname{tg} \beta = \frac{F_y}{F_z} = \frac{\tau - \sigma \operatorname{tg} \alpha}{\tau \operatorname{tg} \alpha}$.

Определим положение грани, при котором действующая на эту грань сила будет нормальна к ее плоскости, т. е. найдем плоскость, в которой отсутствуют касательные напряжения. Эта плоскость соответствует ориентации растущих трещин. Из условия $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta$ получим квадратное уравнение $(\operatorname{tg} \alpha)^2 + \frac{\sigma}{\tau} \operatorname{tg} \alpha - 1 = 0$. Решив уравнение, видим, что тангенс угла зависит от τ/σ – отношения сдвиговых и нормальных напряжений:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma}{2\tau} \left(\sqrt{1 + 4(\tau/\sigma)^2} - 1 \right), \quad (1)$$

Величина растягивающих напряжений на этой плоскости:

$$\sigma' = \frac{F}{S} = \frac{a^2 \sqrt{(\tau - \sigma \operatorname{tg} \alpha)^2 + (\tau \operatorname{tg} \alpha)^2}}{a^2 \sqrt{1 + (\operatorname{tg} \alpha)^2}} = \tau \sqrt{1 + (\sigma/\tau) \operatorname{tg} \alpha \frac{(\sigma/\tau) \operatorname{tg} \alpha - 2}{1 + (\operatorname{tg} \alpha)^2}} \quad (2)$$

Проанализируем полученные выражения. На первом этапе, на дальней (от фронта забоя) границе зоны влияния выработки, где только начинается трещинообразование в самых слабых пачках угольного пласта, $\sigma \gg \tau$ – сжимающие напряжения гораздо больше сдвиговых. Из (1) следует: $\operatorname{tg} \alpha \approx \tau/\sigma \ll 1$, т. е. угол близок к нулю и ориентация образующихся трещин практически параллельна фронту забоя. При этом величина растягивающих напряжений (2) будет: $\sigma' = \tau(\tau/\sigma)$, это значение не очень велико, но для угля предел прочности на растяжение обычно невелик и наличие растягивающих напряжений приводит к началу образования ориентированных трещин. Именно эти трещины параллельны фронту забоя, являются изолированными, накапливают метан и создают угрозу газодинамических явлений.

Вблизи забоя отношение τ/σ возрастает, угол между фронтом забоя и ориентированными трещинами (1) достаточно быстро приближается к величине 45° . При отношении касательных и нормальных (1) напряжений равном единице ($\tau/\sigma = 1$) угол равен 42° , а величина растягивающих напряжений σ' становится сравнима с γH – горным давлением, несколько превосходя его. Это значительно больше предела прочности на растяжение. На этом этапе происходит рост магистральных трещин, которые под углом пересекают изолированные газонаполненные

трещины, сформированные на первом этапе. Срастание двух систем трещин может вызвать газодинамическое явления с выбросом метана, в котором реализуется энергия свободного газа, накопленного в объеме изолированных трещин.

1. Петухов, И. М. Механика горных ударов и выбросов / И. М. Петухов, А. М. Линьков. Москва : Недра, 1983. – 280 с.
2. Седов, Л. И. Механика сплошной среды : в 2 т. Т. 2. – 6-е изд., стер. / Л. И. Седов. – Санкт-Петербург : Лань, 2004. – 560 с.
3. Смирнов, В. Г. Трещинообразование в угольных пластах впереди забоя подготовительной выработки / В. Г. Смирнов // Вестник КузГТУ. – 2012. № 3. С. 18–20.
4. Смирнов, В. Г. Трещинообразование в угольных пластах, склонных к внезапным выбросам угля и газа / В. Г. Смирнов, В. В. Дырдин, С. А. Шепелева // Вестник КузГТУ. 2013. № 6. – С. 20–27.