

PACS: 81.40.Lm, 83.10.Bb, 83.80.Nb, 81.40.Vw, 62.20.Dc

В.В. Слюсарев¹, Т.А. Василенко¹, А.И. Янчев², А.В. Шуляк³

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ПОРИСТОСТИ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ (ДО 2 GPa)

¹Институт физики горных процессов НАН Украины
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина

²Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина

³ДонНИПИ Цветмет
ул. Лагутенко, 14, г. Донецк, 83002, Украина

Изучено влияние высокого давления на сорбционные свойства углей. Показано, что значительное уменьшение пористости и естественной трещиноватости путем обжаривания и последующей разгрузки образца угля позволило получить материал с другой, наведенной, проницаемостью. Сечение фильтрационных каналов при этом оказывается настолько большим, что наблюдение процесса фильтрации становится невозможным.

Структура ископаемого угля по общим представлениям, основанным на рентгеноструктурном анализе и электронной микроскопии, рассматривается как система, построенная из маленьких графитоподобных фрагментов (кристаллитов), беспорядочно ориентированных в объеме, и цепной неароматической части [1–3].

Пористая структура ископаемого угля непосредственно связана с его внутренней структурой. На сегодняшний день доказано наличие в структуре ископаемого угля пор размерного уровня 10^{-3} – 10^{-9} м. Методики определения пористости, основанные на экспериментах измельчения и пикнометрии, дают неточные результаты, не учитывающие закрытой пористости. Проблема закрытой пористости изучена с позиций адсорбции газов [4], разрушения высоким давлением [5] и методик малоуглового рентгеновского [6] и нейтронного [7] рассеяния.

Целью данной статьи является исследование пористой структуры ископаемого угля несколькими независимыми методами, а также изучение степени влияния высокого давления до 2 GPa на пористую структуру угля, определение механизмов десорбции метана из угля.

В работе исследовались образцы среднеметаморфизированного ископаемого угля шахт им. Засядько и им. Скочинского.

Уголь шахты им. Засядько марки Ж (кокс). Пласт l_1 сложного строения, хрупкий, с включениями пирита, опасен по газу, суфлярным выделениям метана, взрывчатости угольной пыли, внезапным выбросам угля и газа. Природная газоносность пласта $20\text{--}25 \text{ м}^3/\text{т}$ сухой беззольной массы.

Уголь шахты им. Скочинского марки К (кокс). Пласт h'_6 сложного строения, особо опасен по внезапным выбросам угля и газа. Природная газоносность пласта $20\text{--}30 \text{ м}^3/\text{т}$ сухой беззольной массы.

Качественные характеристики углей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики исследуемых углей

Шахта	C_a	H_a	C_{daf}	H_{daf}	A	A_d	$W, \%$	$A_{зола}$	V_{daf}^T
Им. Засядько	2.14	1.66	86.27	5.44	86.06	5.55	1.17	1.18	19
Им. Скочинского	2.15	0.83	84.18	5.55	86.00	5.67	0.73	0.74	20

Исследования пористости выполняли в соответствии с пикнометрической методикой по ГОСТ 2160–92, методикой сорбции газов [4] и методом разрушения ископаемого угля высоким давлением [5]. Динамику газовыделения из нормального и разрушенного высоким давлением угля изучали при помощи метода десорбции метана в вакуумированный сосуд известного объема. Точность метода определяется точностью измерения объема сосуда и измерения давления газа, собранного в сосуде. Этот метод свободен от влияния влажности атмосферы воздуха и позволяет проводить измерения процесса десорбции длительное время. Чтобы исключить дополнительный варьируемый параметр – влажность, для опытов использовали предварительно высушенные образцы угля. Десорбцию метана изучали в углях, измельченных до гранул $0.2\text{--}0.25 \text{ мм}$, после насыщения их метаном в сорбционной камере при давлении газа 4 МПа.

Кажущуюся плотность определяли гравиметрическим методом с парафинированием образца. Для установления действительной плотности ископаемого угля методом пикнометрии использовали аналитическую пробу топлива крупностью менее 0.2 мм . За результат испытания принимали среднее арифметическое результатов, полученных в ходе двух параллельных измерений.

Для исследования процесса сжатия хрупких пористых тел под высоким неравнокомпонентным давлением была разработана и изготовлена камера-матрица [6] высокого давления, обеспечивающая давления до 2 ГПа. Деформации образцов в камере представляли как графические зависимости от носительного изменения плотности от приложенного давления $\Delta\rho/\rho = f(P)$.

В свете экспериментов по разрушению ископаемого угля высоким давлением возможно выяснение вопросов пористой структуры ископаемого угля

при таком подходе. Поскольку проблема аннигиляции пор под давлением довольно хорошо изучена в порошковой металлургии и технологии керамических материалов, а величина изменения объема под давлением весьма высока, носит необратимый характер и не может быть объяснена как упругие взаимодействия, проведение аналогий между поведением углей и других изученных материалов под уплотняющим давлением приводит к постановке следующей задачи.

Исходя из предположения, что основной объем газа содержится в угольном пласте в свободном сжатом состоянии в порах угольного вещества различного размера, поставим задачу избавиться от всех типов пористости путем компрессии образца и по величине уплотнения определим ликвидированный объем, который может быть занят газом.

Эксперименты по пикнометрии дали следующие значения плотности образцов (табл. 2).

Таблица 2

Уголь марки Ж	Плотность, g/cm^3	
	кажущаяся	действительная
Выбросоопасный (ш. им. Засядько)	1.31	1.37
Особовыбросоопасный (ш. им. Скочинского)	1.255	1.301

Таким образом, величина открытой пористости для угля шахты им. Засядько составляет 4.6%, а для угля шахты им. Скочинского – 4%.

Результаты исследований по разрушению угольных образцов высоким давлением приведены на рис. 1. Для угля шахты им. Засядько суммарная пористость составляет 26% (значение плотности при максимальном давлении достигает 1.65 g/cm^3), а для угля шахты им. Скочинского – 30.1%.

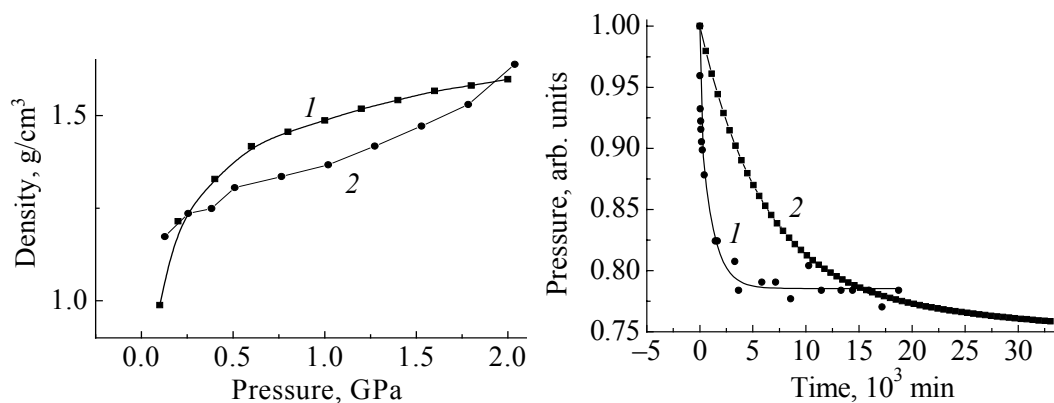


Рис. 1. Зависимость плотности угля от давления: 1 – шахта им. Засядько, 2 – шахта им. Скочинского

Рис. 2. Зависимость давления метана в сорбционной ампуле от времени насыщения: 1 – шахта им. Засядько, 2 – шахта им. Скочинского

Эксперимент по определению закрытой пористости изучаемых образцов дал следующие результаты. Для выбросоопасного угля марки Ж шахты им. Засядько закрытая пористость – 23.5%. На рис. 2 приведены зависимости изменения давления метана в сорбционной ампуле от времени. Для особовыбросоопасного угля марки Ж шахты им. Скочинского закрытая пористость – 32%.

Сравнивая значения общей пористости, полученные двумя указанными методами для угля шахт им. Засядько (26% и 23.5% + 4.6% = 28.1%) и им. Скочинского (30.1% и 32% + 3.9% = 35.9%), нетрудно заметить, что эти значения близки между собой и гораздо выше получаемых стандартными методами. Несмотря на ряд замечаний различных исследователей по поводу завышенной величины пористости, которую дает объемный сорбционный метод, наши результаты хорошо согласуются между собой.

Кинетика газовой выделения из исходного и разрушенного высоким давлением угля представлена на рис. 3.

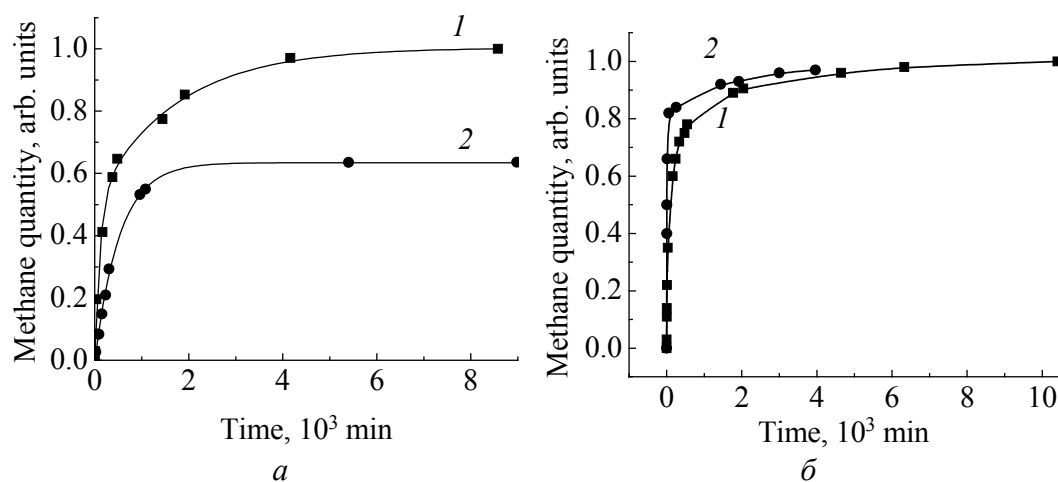


Рис. 3. Кинетика десорбции метана из угля шахт им. Засядько (а) и им. Скочинского (б): 1 – исходный образец; 2 – образец после обработки высоким давлением

В исходном образце кинетика дегазации (кривая 1 на рис. 3,а) такая же, как и во всех каменных углях, которые до настоящего времени были объектами исследований. Ее особенность – невозможность описания хода изменения давления в накопительном сосуде в виде одной экспоненциальной зависимости. Это признак процессов, в которых в качестве составляющей присутствует не только диффузия, но и эффект фильтрации газа транспортными каналами (открытыми порами, трещинами) [8]. Действительно, истечение газа по фильтрационным каналам сопровождается появлением в них так называемого опорного давления, что ограничивает («регулирует») интенсивность газового потока, поступающего из закрытых пор углей. В ходе десорбции опорное давление уменьшается, что обуславливает изменение показателя экспоненты.

Для образца угля после его обжатия (кривая 2 на рис. 3,а) характер десорбции существенно изменяется. Как видно из рисунка, значительно

уменьшается сорбционная способность образца. Принимая во внимание диапазон приложенных давлений, можно предположить, что одним из результатов экстремальной деформации угля является уменьшение его закрытой пористости. К такому выводу можно прийти, если учитывать значительный вклад закрытой пористости угля в аккумулялирование метана [5].

Кинетика десорбции газа после обжаривания угля также изменилась: она удовлетворительно описывается одной экспоненциальной зависимостью. Это указывает на отсутствие или пренебрежимо малый вклад эффекта фильтрации газа вследствие разрушения трещиновато-пористой структуры образца.

В качестве варианта объяснения описанного явления можно предположить, что наряду с закрытой пористостью происходит также уменьшение пористости открытой, а образовавшиеся фильтрационные каналы имеют больший диаметр. В этом случае дегазация происходит путем диффузии молекул метана из угля или его десорбции с поверхности гранул.

Таким образом, значительно уменьшив пористость и естественную трещиноватость, мы после обжаривания и последующей разгрузки образца угля получили материал с другой, наведенной, проницаемостью. Сечение фильтрационных каналов при этом оказалось настолько большим, что наблюдение эффекта фильтрации стало невозможным.

Работа выполнена при поддержке ДФФД и МОН Украины (грант президента Украины GP/F11/0100).

1. В.И. Касаточкин, Н.К. Ларина, *Строение и свойства природных углей*, Недра, Москва (1975).
2. Y.N. Shinn, *Fuel* **63**, 1187 (1984).
3. A. Oberlin, *Chem. Phys. Carbon* **22**, 1 (1989).
4. A.D. Alexeev, E.P. Feldman, T.A. Vasilenko, *Fuel* **79**, 939 (2000).
5. В.В. Слюсарев, Т.А. Василенко, *Физико-технические проблемы горного производства* № 5, 79 (2002).
6. Т.А. Василенко, П.И. Поляков, В.В. Слюсарев, *ФТВД* **10**, № 3, 101 (2000).
7. P.J. Hall, M. Antxustegi, W. Ruiz, *Fuel* **77**, 1163 (1998).
8. А.Д. Алексеев, В.В. Синолицкий, Т.А. Василенко, Н.Н. Сереброва, В.В. Кирюков, А.А. Козлитин, И.А. Изотова, *ФТПРПИ* № 2, 99 (1992).

V.V. Slyusarev, T.A. Vasilenko, A.I. Yanchev, A.V. Shulyak

DETERMINATION OF FOSSIL-COAL TOTAL POROSITY BY USING HIGH PRESSURE METHOD (P UNDER 2 GPa)

High-pressure effect on sorption properties of coals has been studied. It is shown that a considerable decrease of porosity and natural jointing as a result of reduction followed by coal sample relief have given a material of a different induced permeability. Filtration channel section becomes so large that the filtration process turns to be invisible.

Fig. 1. Dependence of coal density on pressure: 1 – Zasyad’ko mine, 2 – Skochinsky mine

Fig. 2. Dependence of methane pressure in sorption ampoule on saturation time: 1 – Zasyad’ko mine, 2 – Skochinsky mine

Fig. 3. Kinetics of methane desorption from coal samples taken at Zasyad’ko (*a*) and Skochinsky (*o*) mines, respectively: 1 – initial sample; 2 – sample after high-pressure treatment