© А.В. Джигрин, Ю.В. Горлов, В.М. Бучатский, М.В. Ельский, 2005

УДК 622.272

А.В. Джигрин, Ю.В. Горлов, В.М. Бучатский, М.В. Ельский

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ РАЗУПРОЧНЕНИЯ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

В настоящее время успешно развивается нетрадиционная технология управления состоянием горного массива с использованием физико-химического воздействия диоксида углерода на уголь. Накоплено значительное количество экспериментальных фактов снижения прочности ископаемых углей после обработки диоксидом углерода, но объяснения физико-химичес-кого смысла этого явления с единых позиций не существует.

В работах [1-3] установлено, что разупрочнение ископаемых углей диоксидом углерода обусловлено его конденсацией в пористой структуре угля. Как известно, ископаемый уголь имеет сложную структуру, состоящую из набора элементов разного пространственного масштаба, причем массоперенос диоксида углерода в углях лимитируется теми участками трещиноватопористой структуры углей, которые, с одной стороны, сравнительно легко доступны для попадания на них сорбированных молекул, а с другой, хотя бы по одному из своих измерений имеют протяженность, близкую к микроскопической, сопоставимую с линейными размерами этих молекул. В таких микроканалах давление газообразного CO_2 повышается действующими там силовыми полями, вплоть до значений, превышающих критическое для данной температуры, что приводит к его конденсации. Образующиеся при такой конденсации многочисленные жидкие включения понижают прочность и разупрочняют уголь.

В развитие научных представлений о механизме физико-химических процессов, происходящих в ископаемых углях при воздействии диоксида углерода, использовали метод ИК-спектроскопии, который обладает тем преимуществом, что может быть использован при анализе многокомпонентных смесей, каковыми являются угли. Для анализа сложных спектров углей марок Д и КС использовали спектрометр UR-20 в области частот 400-1800 и 2100-3800 см$^{-1}$. Сравнивали спектры углей, обработанных диоксидом углерода в течение 30 мин под давлением 2,8 МПа, и необработанных диоксидом углерода. Результаты приведены на рис. 1 и 2.

По результатам ИК-спектроскопии сделан вывод о том, что адсорбированный диоксид углерода закрепляется на поверхности ископаемого угля в виде "карбонитного" иона CO_2^{2-} [4]. Сделано предположение, что активизация этого процесса происходит за счет перенапряжения скелетных связей при деформации макромолекул угля, сопровождающейся искажением орбиталей межатомных связей боковых групп.

Для выявления механизма воздействия диоксида углерода на уголь были проведены

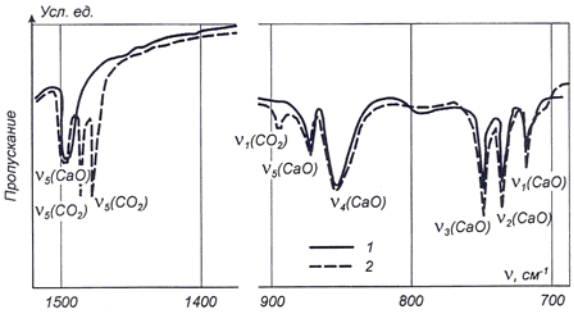

Рис. 1. ИК-спектры поглощения угольных образцов (оксид кальция), не обработанных CO_2(1) и обработанных CO_2(2)

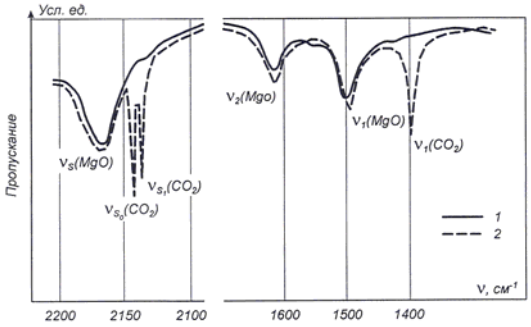

Рис. 2. ИК-спектры поглощения угольных образцов (оксид магния), не обработанных CO_2(1) и обработанных CO_2(2)

рентгеноструктурные исследования обработанных образцов [5]. Рентгеноструктурный анализ проводился на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3.

Рентгеновская дифракционная картина однофазного вещества характеризуется строго определенным спектром межплоскостных расстояний d и интенсивности J линий спектра. Если в освещаемом рентгеновскими лучами объеме вещества содержится m фаз, каждая из которых рассеивает излучение независимо друг от друга, то дифракционная картина будет складываться из m спектров компонент:

$$\left\{ \sum_{j=1}^{m} \left[\; d_i;\; C_j;\; J \; \right] \; j \right\},$$

где C_j - постоянная при заданных условиях эксперимента; j -индекс фазы; i - индекс дифракционной фазы.

При проведении качественного анализа установлено, что J_i представляет собой отношение интенсивности i-го дифракционного максимума к интенсивности самой сильной линии для данного вещества. Интенсивность самой сильной линии J_0 принимают обычно за 100. В качестве способа поиска фаз-компонент используется сопоставление априорно известных спектров фаз-эталонов и экспериментального образца, причем критерием присутствия фазы в образце будет совпадение всех линий эталона (с учетом их интенсивностей) с линиями образца, а критерием отсутствия фазы-эталона в образце является отсутствие в спектре образца двух дифракционных линий эталона из числа сильных линий.

Угол дифракции ν определяется как межплоскостным расстоянием, так и используемой длиной волны. Проводить сравнение спектров в шкале углов удобно лишь при использовании одной длины волны измерения.

Так как проведенные ИК-спектроскопи-

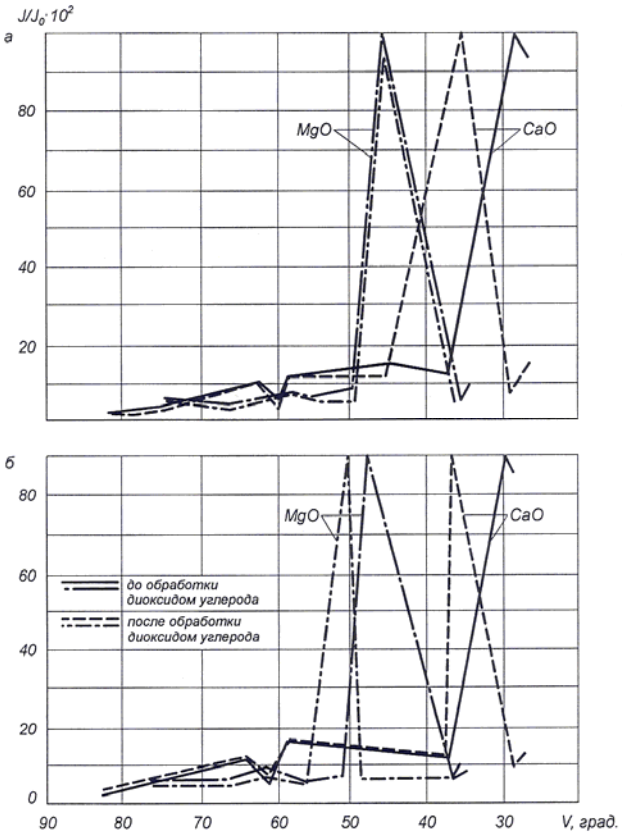

Рис. 3. График зависимости отношений интенсивностей линий спектра от угла дифракции: а – уголь марки КС; б – уголь марки Д.

ческие исследования образцов определили изменения структуры угля, характеризующиеся адсорбированием диоксида углерода на поверхности оксидов кальция и магния, то рентгеноструктурные исследования выполнялись только для двух фаз-компонен-тов угля - оксида кальция и оксида магния угольных образцов марки Д и КС.

На основании рентгеноструктурного фазового анализа сделан ряд выводов: после обработки образцов угля диоксидом углерода снизилась интенсивность линий спектра; в образцах угля марки Д снижение интенсивности значительнее, чем в образцах угля марки КС, кроме этого, произошло смещение максимумов интенсивности двух самых сильных линий по углу скольжения при исследовании угля марки Д и одной - при исследовании угля марки КС, что видно из графика зависимости отношения интенсивностей J/J_0 от угла дифракции (рис. 3). Все выше перечисленные изменения в спектре рентгенограмм указывают на увеличение (смещение) пластических свойств оксидов щелочноземельных металлов кальция и магния, что хорошо согласуется с полученными результатами ИК-спектроскопии. Сравнение ИК-спектров поглощения образцов углей, обработанных и необработанных диоксидом углерода, позволило определить, что соединениями, в которых появляются новые полосы поглощений, соответствующих диоксиду углерода, являются оксиды щелочноземельных металлов кальция и магния (компоненты золы угля).

В шахтных условиях ОАО «Воркута-уголь» и ОАО «Прокопьевскуголь» в ходе отработки новых технологических решений способа разупрочнения угольного пласта с использованием физико-химического воздействия диоксида углерода на уголь был выявлен ряд его недостатков.

К недостаткам данного способа можно отнести ограниченность его применения на пластах, которые имеют смятые трещиноватые зоны с большой проницаемостью, не позволяющие создавать и поддерживать в пласте пороговое давление. Кроме того, проницаемость пород и угля по газу в несколько раз превышает их проницаемость по жидкости, что при наличии трещин делало закачку диоксида углерода в угольный пласт экономически неоправданной.

Нами предлагается способ разупрочнения угольного пласта, предусматривающий бурение скважин по пласту в обрабатываемую зону, подачу в них диоксида углерода, дальнейшее поддержание давления в скважине не ниже 3 МПа с последующим повышением давления CO_2 в скважинах выше порогового, но ниже гидроразрыва пласта, путем закачки в них воды до полного водонасыщения обрабатываемой зоны, после чего давление воды в скважинах увеличивали до гидроразрыва пласта и продолжали нагнетание воды до тех пор, пока давление в скважине не становилось ниже порогового. Это позволяет наиболее интенсивно заполнить водой поровый объем обрабатываемой зоны, сжимая диоксид углерода в порах до порогового давления, при котором происходит наиболее эффективное разупрочнение угольного пласта. При этом давлении воды не происходит гидроразрыва пласта, т.е. образования магистральных трещин, что позволяет произвести равномерное водонасыщение обрабатываемой зоны. Благодаря низкой проницаемости угля по воде ее применение вместо газа позволяет повысить поровое давление в угольном массиве до порогового и выше даже в нарушенных трещиноватых углях. На этом этапе обрабатываемая зона покрывается сетью мелких и средних трещин, которые образуются и увеличиваются благодаря снижению свободной поверхностной энергии диоксидом углерода, сжимаемым в порах и трещинах напорной водой до порогового давления, т.е. давления, при котором происходит фазовый переход углекислого газа в жидкую фазу в микропорах и его интенсивное проникновение во вновь образуемые трещины с адсорбцией на новых поверхностях, препятствующей смыканию этих трещин. Нагнетаемая под давлением вода оказывает гидродинамическое воздействие на угольный массив с пониженной свободной энергией, что ведет к лавинообразному раскрытию пор и трещин.

На втором этапе воздействия давление воды в скважинах увеличивали до гидроразрыва пласта и ее нагнетание продолжали до тех пор, пока давление в скважине не станет ниже порогового. Повышение давления воды до наступления гидроразрыва пласта обусловлено тем, что оно является максимально возможным для конкретного участка угольного пласта, а следовательно, работа по разупрочнению при этом давлении будет максимально интенсивной. При понижении давления воды ниже порогового диоксид углерода в угольных порах переходит в газообразную фазу, при этом значительно

увеличивается эффективность процесса трещинообразования.

Для интенсификации процессов динамического раскрытия трещин, образующихся при нагнетании в пласт CO_2 и воды, рекомендуется применять специальное газо-гидравлическое устройство (ГГДУ). Газо-гидравлическое устройство предназначено для выполнения работ по нагнетанию диоксида углерода и воды в угольный пласт с целью понижения прочности и последующего воздействия на уголь энергией сжатого воздуха высокого давления (80 МПа). ГГДУ комплектуется пневмоимпульсным патроном АПI-00.000 СБ, исполняющим роль рабочего органа. Эффект разупрочнения достигается за счет предварительной обработки пласта газом CO_2 и последующего воздействия импульса, генерированного расширяющимся сжатым воздухом под давлением порядка 80 МПа, истекающим из выхлопных отверстий патрона в полость скважины, заполненной водой.

При применении ГГДУ используется комплекс оборудования, включающий:

- установку по доставке и нагнетанию диоксида углерода в пласт (УД-CO_2);
- источник высокого давления на 40-80 МПа, компрессор фирмы “Амстронг”;
- шахтный пневморессивер, V = 130 л, P= 80 МПа;
- шланги высокого давления (ТУ 12.44.384-92);
- систему контроля и управления процессом работы газо-гидравлического устройства.

Газо-гидравлическое устройство может быть использовано на угольных шахтах для комбинированного, а также раздельного воздействия на угольный пласт диоксидом углерода, водой и сжатым воздухом высокого давления, а также для интенсификации газовыделения из угольных пластов.

В результате проведения экспериментальных работ установлено следующее:

- комбинированное воздействие на угольный пласт диоксида углерода и высоконапорной воды приводит к значительному снижению крепости угля. По замерам индентором в зоне, примыкающей к шпуру, отмечено снижение крепости в 4 раза и по замерам при бурении контрольных шпуров в радиусе 2 м от нагнетательного шпура крепость угля снизилась в 1,5-2 раза;
- в зоне комбинированного воздействия углекислого газа и воды в угольном массиве образуется сеть мелких трещин и общий радиус ослабления массива достигает 3 м;
- нагнетание воды в шпуры целесообразно производить в режиме водонасыщения в течение 1,0-1,5 ч, а затем давление повышать до давления гидроразрыва пласта (7-8 МПа) с интенсификацией процесса сжатым воздухом, что приводит к раскрытию трещин радиусом до 7÷10 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Астахов А. В., Винокурова Е. Б., Кеплах А. И.*//Докл. АН СССР. 1987. Т. 294. № 3. С. 626-629.
2. *Астахов А. В., Бунин А. В. и. др.* //ХТТ. 1986. № 5. С. 24-27.
3. *Астахов А. В.* Обоснование геотехнологического использования процессов, обусловленных конденсацией газов в полях поверхностных сил угля: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: МГИ, 1993. 43 с.
4. Управление состоянием угля с использованием последствий капилляроподобной конденсации газов / Астахов А. В., Джигрин А. В., Широчин Д. Л., Эдельштейн О. А. - Сб. науч. тр. Вып. 2. - М.: 1992. Недра. - С. 114- 119.
5. Нетрадиционная технология управления состоянием горного массива с использованием физико-химического воздействия диоксида углерода на уголь Н. Ф. Ткаченко, О. А. Эдельштейн. А.В. Джигрин. - Горный вестник. - 1994. - № 1. - 59 с.

Коротко об авторах

Джигрин А.В. – доктор технических наук,
Горлов Ю.В. – кандидат технических наук,

ЗАО «Межведомственная комиссия по взрывному делу» при Академии горных наук.

Бучатский В.М. – кандидат технических наук, ОАО «Воркутауголь»,
Ельский М.В. – ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского.