

УДК 622.831:622.82

## ВЛИЯНИЕ СЖАТИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ОБРАЗЦА УГЛЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ: ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ВОЗДУХА В ЗОНЕ ГОРЕНИЯ

**Борисенко Д.И.**

*Национальный научный центр горного производства –  
– Институт горного дела им А.А.Скочинского, Люберцы, Россия*

### АННОТАЦИЯ

В работе описывается проведенный эксперимент по исследованию связи одноосного сжатия образцов кузбасского угля с интенсивностью процесса их горения. Интенсивность процесса горения оценивалась по концентрации кислорода, двуокиси углерода и угарного газа непосредственно у горящей

поверхности образца. Установлено, что концентрации указанных газов при горении образца угля зависят от силы его сжатия. Выдвигается гипотеза, объясняющая такую связь изменения газового состава со сжатием горящего образца угля.

### ВВЕДЕНИЕ

При пожаре в угольном пласте образуется фронт горения, распространяющийся в сторону невозмущенного массива от очага горения [1, стр.233–236; 2, стр.673]. Уголь – многокомпонентная среда (как на макроscopicком, так и на микроscopicком уровне), состоящая из множества частиц с различными коэффициентами термического расширения. За счёт либо неоднородного нагрева

породы, либо различия в значениях коэффициентов теплового расширения и упругих свойств, слагающих породу минералов и агрегатов, в горных породах (в нашем случае в угле) возникают термические напряжения [3, стр.95–97]. Попадая в зону фронта горения, различные компоненты угольного вещества расширяются по-разному, что приводит к дополнительному напряжённому состоянию в зоне отжима.

### ГИПОТЕЗА

Стационарное горение твёрдого топлива является самоподдерживающимся процессом. В результате неоднородности горячей среды (различия теплофизических свойств структурных элементов, из которых она состоит, в частности, теплопроводности и теплового расширения), при её нагреве, сопровождающем горение, на границах этих элементов возникают напряжения. При превышении порога прочности такие напряжения перерастают в микроразрывы, которые, в свою очередь, объединяясь, сливаются в трещины. Направление развития трещин определяется двумя факторами: строением горящего вещества (пространственным распределением его неоднородности) и градиентом температуры (направлением подвода тепла). Развитие трещин продолжается по мере подвода тепла.

Для поддержания горения в стационарном режиме требуется предварительный прогрев горящего вещества. В случае возникновения параметрического резонанса микроразрывы сливаются в одну трещину, которая при

прорастании обеспечивает подсос окружающей среды. В момент образования трещины между её берегами отсутствует сплошное заполнение (здесь образуется вакуум, в который устремляется часть окружающей среды, способная быстро перемещаться), а поскольку большинство трещин при горении прорастают по градиенту температуры, т.е. выходят на горящую поверхность, такой подвижной частью среды являются горячие газы и пламя с горячей поверхности. Поскольку теплопроводность угля ниже, чем у вмещающих пород и не превышает 1,8 Вт/(м·К) [4, стр. 38 – 41], прорастание трещин на горящую поверхность способствует прогреву угля (увеличивает глубину прогрева) и тем самым поддерживает процесс горения.

При достижении расстоянием между берегами трещины значения длины свободного пробега молекулы кислорода трещина начинает способствовать окислению участков горячей среды, расположенных в относительной глубине (на расстоянии прорастания трещины) от

непосредственного фронта горения. Таким образом, горение само себя продвигает вглубь горячей среды посредством трещинообразования.

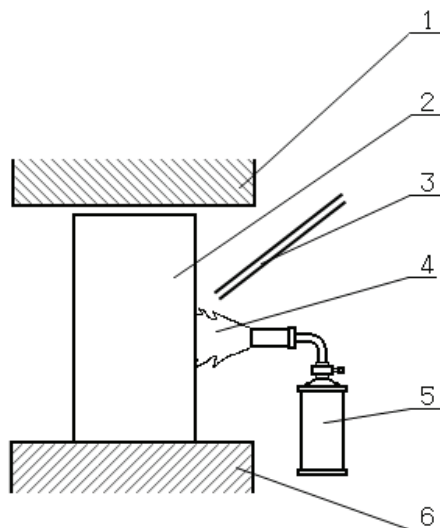


Рис.1 Принципиальная схема экспериментальной установки

- 1 – верхняя обкладка прессы;
- 2 – исследуемый образец;
- 3 – пробозаборник газоанализатора;
- 4 – открытое пламя;
- 5 – газовая горелка;
- 6 – нижняя обкладка прессы.

Поскольку горению твёрдого тела для поддержания стационарного режима необходимо постоянное развитие трещин, то логично предположить, что угнетение трещинообразования приведёт к ослаблению и прекращению процесса

горения. Как отмечено выше, на направление роста трещин влияет строение горячей среды, в частности, для органических слоистых сред приоритетное направление развития трещин параллельно плоскостям слоёв. Для угнетения трещинообразования нужно как затруднить дальнейшее развитие трещин (продвижение носика трещины вглубь невозмущённой горячей среды),



Рис.2 Внешний вид образца угля, помещённого в пресс, до начала нагрева.

так и залечить существующие трещины, или хотя бы соединить их берега до минимально возможного расстояния. На слоистых системах проще всего это осуществить, сдавливая горящую среду в направлении, перпендикулярном плоскостям слоёв.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

В экспериментах использовались образцы каменного угля (марки КО, шахта им. В.И. Ленина, г. Междуреченск Кемеровской обл.) размерами 30×200×60 мм (толщина (база) × ширина × высота) и сухой древесины (сосна) размерами: 100×90×10 мм (толщина (база) × ширина × высота). Образцы помещались в вертикальный ручной пресс, развивающий усилие до 160 кгс/см<sup>2</sup> таким образом, чтобы при сдавливании слои прижимались друг к другу, и в случае образования трещин их берега соединялись.

Как отмечено в [5, стр. 386]: «О степени развития процесса самовозгорания можно судить по изменению состава и свойств воздуха. Эти изменения заключаются в уменьшении содержания O<sub>2</sub>, повышении концентрации CO<sub>2</sub>, появлении CO, газообразных углеводородов (этана, этилена, пропана, бутана и др.), водорода, повышении

температуры и влажности воздуха». Для диагностики интенсивности процесса горения (изменения газового состава), во время эксперимента измерялись самые основные величины: концентрации кислорода, двуокиси углерода и окиси углерода.

В непосредственной близости от рабочей (нагреваемой) поверхности образцов располагался вход в засасывающий патрубок (пробозаборник) газоанализатора Delta-65. Этот газоанализатор позволяет измерять концентрацию кислорода (O<sub>2</sub>), двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>) и окиси углерода (CO) в засасываемой газовой среде. По изменению концентрации этих газов диагностировалась интенсивность горения. Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

Расстояние от горячей поверхности образца угля до всасывающего торца пробозаборника газоанализатора составляло 1см, что соответствует диаметру пробозаборника.

В качестве рабочего газа использовался изобутан, пламя горения которого имеет температуру порядка 1200°С.

Внешний вид образца угля, установленного в прессе, с подведенным к его рабочей поверхности пробозаборником представлен на рисунке 2.

С целью недопущения повреждения экспериментального оборудования воздействием открытого пламени отдельные его части защищались алюминиевой фольгой и кремнеземными теплоизолирующими матами Supersil, прикрепляемыми стальной проволокой, что видно на рисунке 2.

После установки каждого образца в пресс и подведения пробозаборника газоанализатора к рабочей поверхности образца включался газоанализатор, работавший до полного завершения эксперимента. После снятия газоанализатором нескольких проб рабочая поверхность образца нагревалась открытым пламенем газовой горелки до тех пор, пока образец не начинал гореть самостоятельно; тогда горелка удалялась из зоны проведения эксперимента. Во время самостоятельного (стационарного) горения образца снималось минимум две пробы газоанализатором, после чего начиналось сжатие образца прессом до полного прекращения пламенного горения или разрушения образца.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Типичный вид зависимостей давления и концентрации индикаторных газов в зоне горения образца от времени представлен на рисунке 3.

В опыте, которому соответствуют графики, представленные на рис.3, нагрев образца начался на восьмой минуте от начала отсчёта времени. Концентрация кислорода начинает понижаться, что свидетельствует о его расходе на окисление горящего угля, концентрации продуктов горения (диоксида углерода и угарного газа) увеличиваются, что указывает на интенсификацию процесса горения. В районе 10 минут от начала отсчёта времени (10'02") установилось самостоятельное горение образца, и горелка была удалена из зоны теплового влияния на исследуемый образец. Следующая проба атмосферы в зоне горения (12'37") показала отсутствие изменения концентраций индикаторных газов (кислорода и диоксида углерода), что свидетельствует о стационарном режиме горения образца. На тринадцатой минуте от начала отсчёта времени началось сжатие горящего образца прессом (на графике зависимости давления от времени это хорошо видно).

В замерах, произведенных после этого времени, видно увеличение концентрации кислорода (следовательно, его всё меньше и меньше расходуется на собственно горение). Концентрации продуктов горения (диоксида углерода и окиси углерода) уменьшаются, что говорит о снижении интенсивности горения. Как видно из зависимостей на рисунке 3, по мере увеличения сдавливающего горящий образец усилия изменения концентраций всех трёх индикаторных газов свидетельствуют об ослаблении процесса горения. В начале двадцать третьей минуты от начала проведения эксперимента сдавливающее усилие привело к разрушению образца.

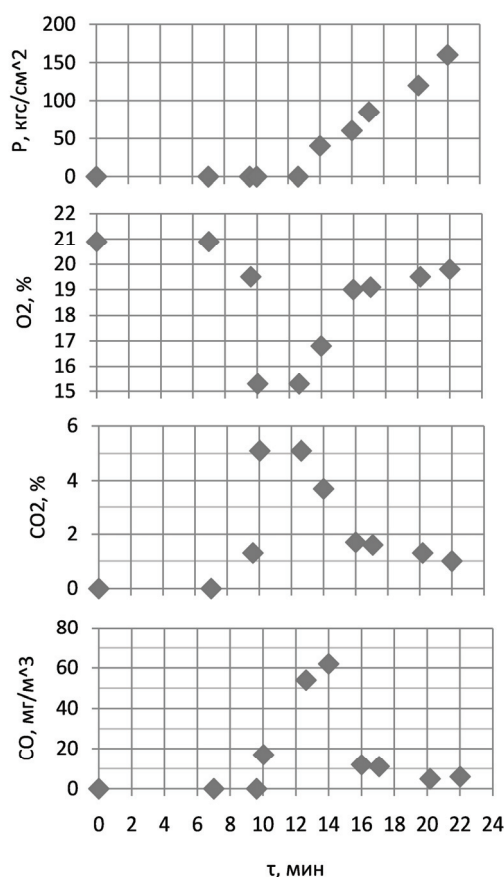


Рис.3 Зависимость давления (в кгс/см<sup>2</sup>), концентрации O<sub>2</sub> (в %), концентрации CO<sub>2</sub> (в %) и концентрации CO (в мг/м<sup>3</sup>) от времени (в минутах).

## ВЫВОДЫ

- Впервые проведены уникальные эксперименты по исследованию связи изменения газового состава непосредственно вблизи горячей поверхности образца угля с его сжатием.
- Эксперименты проведены на образцах кузбасского угля марки КО. Давление сжатия образцов изменялось от 0 до 160 кгс/см<sup>2</sup>, концентрации контролируемых газов в процессе эксперимента изменялись в следующих пределах: для кислорода (O<sub>2</sub>) – от 15,3% до 20,9%, для двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>) – от 0% до 5,1% и для угарного газа (CO) – от 0 до 62 мг/м<sup>3</sup>.
- Сжатие образцов кузбасского каменного угля до 160 кгс/см<sup>2</sup> (значения, соответствующие горному давлению на глубине залегания нижних

разрабатываемых пластов Кузбасса) приводит к практически полному прекращению их пламенного горения.

- Сдавливание слоистой горячей среды (угля), приводящее к уплотнению напластований, затрудняет рост трещин, поскольку в таких средах трещины образуются вдоль напластований. В результате чего скорость трещинообразования замедляется и не может обеспечить прогрев и окисление приповерхностных слоёв горячей среды, т.е. поддержание процесса горения на стационарном изначальном уровне становится невозможным, и он ослабевает.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шорин С.Н. Теплопередача. – М.: Высшая школа, 1964. – 491 с.
2. Амосов А.П./ Об условии распространения горения за пределы очага воспламенения// ДАН СССР. – 1978. – т. 243. – №3. – С. 673–676.
3. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород: Учебник для вузов. – 4-е изд.,

перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 359 с.

4. Черняк З.А. Физические свойства углей и вмещающих пород как объект аппаратурного контроля. – М.: Наука, 1985. – 128 с.
5. Килячков А.П., Брайцев А.В. Горное дело: Учебник для техникумов. – М.: Недра, 1989. – 422 с.