

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОБДУВА И КОНЦЕНТРАЦИИ ОКИСЛИТЕЛЯ НА ВЫГОРАНИЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ПРИ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Худякова Г.И., Осипов П.В., Рыжков А.Ф.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, 620002, Россия, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской 5

Применение термогравиметрического анализа (ТГА) является одним из современных методов определения характеристик твердого топлива и получения его кинетических параметров, характеризующих процессы тепломассообмена и химических превращений при конверсии в различных окислительных средах в процессе нагрева навески топлива в приборе синхронного термического анализа. Измерительный блок прибора схематически представлен на рис. 1.

Была поставлена задача определения влияния расхода окислителя и его концентрации на режим и скорость выгорания коксового остатка антрацита. Все эксперименты проводились на приборе NETZSCH STA 449F3 со стандартным ТГ-ДСК держателем.

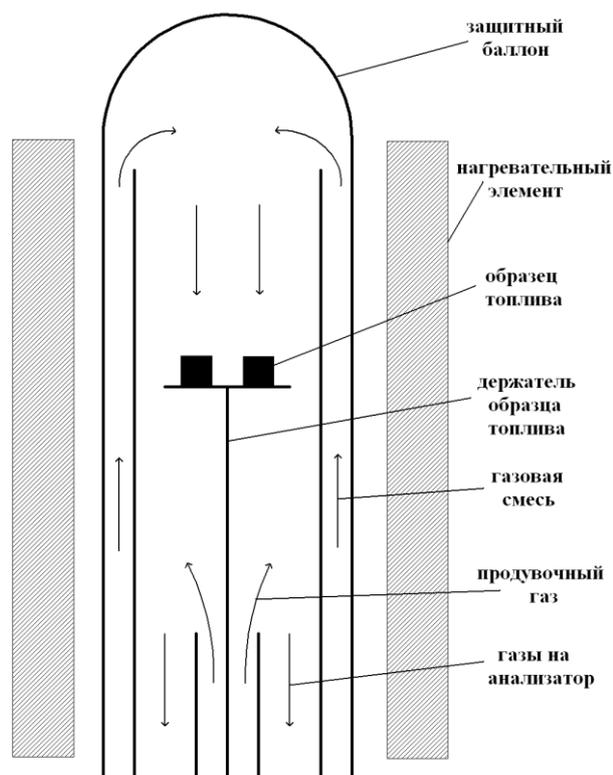


Рис.1. Схема печи измерительного блока

Кокс твердого топлива, как известно, выгорает значительно дольше, чем испаряется влага и выходят летучие вещества. Поэтому исследовалась именно стадия конверсии коксового остатка. Получение кокса антрацита проводилось в установке ТГА.

Стадии сушки топлива и выхода летучих являлись подготовительными, в течение этих двух периодов подавался инертный газ к навеске топлива. Температурная программа была задана согласно стандартной методике определения выхода летучих с разогревом навески топлива до 900 °С и последующей выдержкой при данной температуре, затем следовало охлаждение до 400 °С. При подобной температурной программе этап подготовки кокса и его конверсии про-

ходят без остановок и без контакта образца с окружающей средой, что должно способствовать повышению точности эксперимента.

После получения коксового остатка на последнем сегменте осуществлялась подача окислителя - воздуха. Был выбран динамический режим нагрева коксового остатка топлива со скоростью 7,5 К/мин от 400 до 900 °С. За такой промежуток кокс антрацита полностью выгорал и убыль массы прекращалась.

Исследовался антрацита с зольностью на сухую массу 11-13%, размеры частиц и высота слоя оставались постоянными во всех экспериментах, диффузионной составляющей по высоте слоя. Расход воздуха (q_v) варьировался в пределах от 0,6-8 л/ч, размер частиц составлял 0,09-0,2 мм, при этом масса навески – 11,3±0,2 мг равномерно распределялась по дну тигля.

Горение твердого топлива при термогравиметрическом анализе в печи происходит на его поверхности. Газовый поток, подходящий к слою топлива может быть разделен на основной поток, и поток близкий к топливной засыпке – своеобразная пограничная зона.

Можно условно представить протекание гетерогенных реакций через следующую последовательность элементарных стадий [1]:

- 1) диффузия окислителя из газовой фазы к реакционной поверхности;
- 2) диффузия окислителя в пористый скелет реагирующей частицы;
- 3) адсорбция молекул окислителя на поверхности с образованием промежуточных соединений;
- 4) химические реакции промежуточных соединений (как на поверхности, так и при соударении молекул газовой фазы);
- 5) десорбция продуктов химической реакции;
- 6) диффузия продуктов из пор частицы к поверхности;
- 7) диффузия продуктов от поверхности в основной газовый поток.

Такая схема условна, поскольку границы между этими стадиями четко не очерчены. Она согласуется с современными представлениями и поэтому ее часто используют в качестве рабочей для расчетов.

Скорость выгорания твердого топлива зависит от диффузионных и кинетических факторов. При различных условиях протекания процесса выгорания топлива может контролироваться скоростью переноса вещества или химического превращения.

Важным этапом взаимодействия газовой среды окислителя и навески твердого топлива является диффузия к реакционной поверхности, за которой следует диффузия окислителя в поры частиц топлива и непосредственно химическое взаимодействие окислителя и горючей части топлива.

Оказать влияние на скорость взаимодействия окислителя и топлива возможно при изменении рас-

ходов газовой фазы, подводимой к топливу и концентрации в ней окислителя.

Удельная скорость (1) реагирования (выгорания) определяется как отношение убыли массы топлива за время к начальной органической массе кокса образца.

$$R = \frac{dm}{m_0} \cdot \frac{1}{d\tau} \quad (1)$$

На рис. 2 приведены кривые удельной скорости выгорания кокса антрацита в зависимости от степени конверсии органической массы при различных расходах воздуха, которым обдувается навеска топлива.

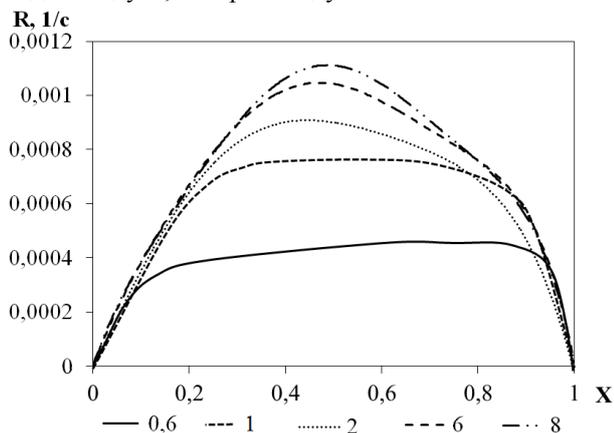


Рис. 2. Изменение скорости выгорания от степени конверсии кокса антрацита при заданном расходе воздуха.

По мере увеличения количества окислителя, подводимого к топливу, удельная скорость выгорания кокса растет, и достигает определенного максимума близкого к конверсии кокса на уровне $X = 0,5$, когда достигается выгорание половины его органической массы. При дальнейшем выгорании удельная скорость падает по мере расходования горючей части, которая в основном состоит из углерода кокса. Однако при малых расходах окислителя характер кривой меняется, так скорость выгорания кокса значительно снижается и максимальных значений R достигает при большей степени конверсии X . При этом четко выраженной «вершины» кривой мы не наблюдаем, она сменяется длительным «плато» при $X = 0,25 - 0,75$, что обусловлено подводом недостаточного объема окислителя к топливу.

Влияние расхода окислителя на скорость выгорания кокса антрацита в случае когда степень конверсии составляла $X = 0,5$ и при температуре навески $T = 900\text{ K}$ приведено на рис. 3.

Приведенные кривые хорошо согласуются между собой, таким образом можно выделить несколько режимов выгорания твердого топлива при проведении термогравиметрического анализа.

Согласно полученным экспериментальным данным можно выделить три режима реагирования при постоянной температуре. Первый участок кривой, на

котором с ростом расхода окислителя (0,6-2 л/ч) наблюдается рост скорости выгорания органической массы. Малые расходы воздуха приводят к низким скоростям набегающего потока на поверхности топливной навески, что в свою очередь является причиной малого количества окислителя, который поступает к слою топлива. В данном режиме количество окислителя недостаточно для реагирования всей поверхности навески топлива, выгорание происходит по мере подвода новых порций окислителя. Низкие значения скорости выгорания связаны с затрудненным подводом окислителя к органической массе кокса сквозь пограничный гидродинамический слой, такой режим можно назвать внешнедиффузионным.

Начиная с расхода воздуха > 1 л/ч выгорание идет в переходном режиме с замедлением роста скорости выгорания по мере роста расходов окислителя.

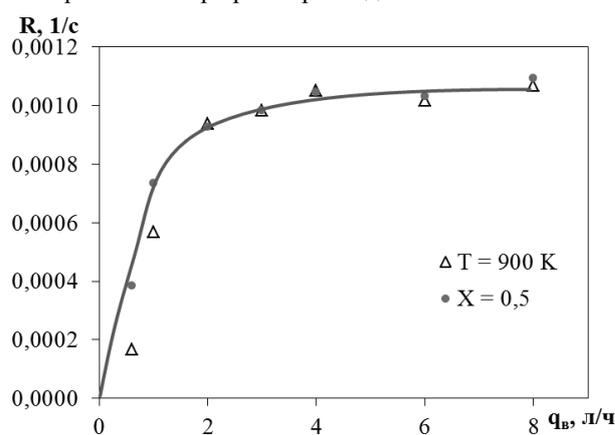


Рис. 3. Зависимость скорости выгорания от расхода воздуха при температуре навески $T = 900\text{ K}$ и степени конверсии кокса $X = 0,5$.

При дальнейшем повышении количества подводимого воздуха рост его расхода практически не оказывает влияния на рост скорости выгорания, происходит стабилизации R на уровне $1 \cdot 10^{-3}$ 1/с. Высокие скорости обдува навески топлива позволяют минимизировать сопротивление пограничного гидродинамического слоя и перейти в кинетический режим. Выгорание идет в кинетическом режиме характеризуется наличием достаточного количества окислителя, на границе засыпки топлива и постоянством его концентрации.

Следует также оценить и влияние высоты слоя засыпки топлива на процесс выгорания навески топлива во всем ее объеме, а так же проницаемости слоя при различных размерах частиц в засыпке.

Список литературы:

1. Слинько М.Г. Моделирование химических реакторов. Новосибирск: Наука, 1968. 96 с.