

УДК 542.71:66

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИСЛОРОДА В ПРОЦЕССАХ ГАЗИФИКАЦИИ УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Хаджинов Е.А., Бондаренко Б.И.

Институт газа НАН Украины, Киев, Украина

АННОТАЦИЯ

Сделан обзор основных технологий газификации угольного топлива. Рассмотрены главные достоинства и недостатки способов газификации, области их применения в настоящее время и перспективы на будущее. Основные акценты сделаны

на технологии, использующие в качестве газифицирующего агента парокислородную смесь. Сделаны выводы о целесообразности и возможностях использования технологий газификации угля в различных областях промышленности.

ВВЕДЕНИЕ

Рост цен на нефть и газ, а также проблемы с надежностью их поставок и увеличением требований по соответствию природоохранным стандартам, приводят к поиску использования альтернативных и доступных источников энергии. В современных условиях изменения ситуации в топливной экономике, технология газификации угля становится весьма актуальной и привлекает

все большее внимание в связи с отрицательным влиянием обычного сжигания угля на экологию и изменение климата.

В последнее время, кислород получает всё более широкое применение в металлургии и энергетике, и в совокупности с углём является перспективной альтернативой широко используемым в настоящее время нефти и природному газу.

ОБЗОР МЕТОДОВ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

Основными способами переработки угля на сегодняшний день являются его сжигание в топках и газификация (также способы как гидродегенизация, пиролиз и полукоксование в данной статье не рассматриваются).

Сжигание угля используется в основном для получения тепловой и электроэнергии на тепловых электростанциях. На это направленно порядка 60 % от мировой добычи угля. В настоящее время вопросы сжигания угля в топках хорошо изучены и широко применяются по всему миру.

Главной проблемой, на сегодняшний день, является экологический фактор, связанный с большим количеством вредных выбросов при сжигании угольного топлива, в частности, диоксида углерода, оксидов серы и азота.

Подробный обзор современных технологий сжигания угля рассмотрен в [1].

Более новым и интересным является вопрос переработки угля, называемый газификацией. Самой привлекательной особенностью газификации является возможность переработки низкосортных видов угля с высоким содержанием смол и золы, а также возможность существенного снижения вредных выбросов в атмосферу [2].

Под газификацией угля понимают превращение его с помощью газифицирующих агентов в смесь горючих газов. При этом стремятся достигнуть наиболее полного превращения углерода исходного топлива.

В качестве газифицирующих агентов обычно применяют воздух, кислород, водяной пар, диоксид углерода и водород. Полученные газы содержат оксид и диоксид углерода, водород, метан, водяной пар и вносимый с воздухом азот.

Способы газификации систематизируют на основе различных принципов. Например, по состоянию топлива в газогенераторе различают способ в неподвижном или в медленно опускающемся слое твёрдого топлива, газификацию в псевдооживленном слое, газификацию в потоке пылевидного топлива. Другая систематизация основана на различии способов подвода тепла в реактор газификации. В этом случае различают автотермические и аллотермические способы. Также различают процессы газификации по типу применяемого окислителя, по давлению в газификаторе и по способу шлакоудаления.

Полезным продуктом газификации всегда является смесь оксида углерода и водорода. В зави-

симости от конкретной задачи и, соответственно, выбранного способа газификации, полученный газ может использоваться в качестве топлива, газа-восстановителя, либо основы для получения водорода или метана. Упрощённая схема способов газификации угля и состав получаемых продуктов приведены на рис. 1 [3].



Рис. 1 Способы газификации угля и состав получаемых продуктов.

Главным достоинством автотермических процессов является использование тепла экзотермических реакций, и, следовательно, отсутствие необходимости подвода дополнительной энергии. В этом случае используется тепло сжигания части топлива кислородосодержащими газифицирующими агентами.

В настоящее время в связи с развитием промышленных технологий получения кислорода и уменьшением его относительной стоимости по отношению к ископаемым энергоресурсам, использование кислорода в качестве газифицирующего агента становится более и более привлекательным.

Существуют следующие основные способы газификации угля с использованием кислорода и водяного пара, применяемые в промышленности.

1. Газификация в стационарном слое (способ Lurgi).

В 1930 г. Фирма Лурги (Lurgi) разработала метод газификации топлива кислородом и паром при повышенном давлении. Результаты лабораторных, полупромышленных, а позднее и производственных испытаний показали, что таким способом можно использовать малоценные топлива и получить из них богатые газы, соответствующие по своей теплоте сгорания бытовому газу [4]. Кроме того, подбором давления и производственного режима можно вырабатывать газы разного состава, синтетический газ с требуемым соотношением между H₂ и CO.

Процесс Lurgi обладает следующими преимуществами:

1. Хорошая рекуперация тепла за счёт противотока.

2. Относительно небольшой расход кислорода.
3. Экономия расходов на компрессию синтезгаза за счёт протекания процесса под давлением.

Недостатки:

1. Можно перерабатывать уголь только определенной крупности и прочности (при разрушении и (или) наличии мелких частиц нарушается ход технологического процесса).
2. Наряду с газификацией идёт термическое разложение топлива с образованием продуктов полукоксования, которые усложняют ведение процесса.

При газификации кускового топлива перегретым водяным паром и кислородом под давлением и при удалении золы в твёрдом состоянии наблюдается относительно низкая степень конверсии водяного пара (30-40%), что также является недостатком.

Основные пути усовершенствования процесса газификации по способу Лурги - это увеличение температуры в зонах горения и газификации и повышение давления до 8 МПа. В первом случае возрастает степень конверсии водяного пара, и шлакоудаление осуществляется в жидком виде. Во втором случае повышение давления позволит повысить производительность, а также будет способствовать гидродегенизации высших углеводов, что увеличит процентное содержание метана в продуктах газификации.

2 Газификация в псевдооживленном слое (способ Winkler).

Процесс Винклера предусматривает парокислородную газификацию при атмосферном давлении. Сам газификатор представляет собой футерованную шахту, в нижней части которой за счёт дутья, подаваемого снизу, создается кипящий слой угля. Часть парокислородной смеси подается выше слоя для газификации вынесенных из слоя мелких частиц. Тепло- и массообмен в кипящем слое достаточно интенсивны, что обеспечивает высокую степень газификации углерода (90%).

В газификаторе Винклера предусмотрено твердое шлакоудаление, что обуславливает сравнительно низкую температуру процесса (до 1300 К).

Преимущества данного способа определяются менее жесткими требованиями по отношению к исходному углю, а также большей гибкостью выработки заданного количества синтезгаза. Для сжигания в кипящем слое возможно использование углей различной степени метаморфизма (от антрацита до бурого), в том числе высокосернистых, с уровнем зольности 10-60%, а также отходов углеобогащения (80%) [5]

Недостатки способа заключаются, прежде всего, в ограничениях, обусловленных невысокой температурой газификации при атмосферном давлении, а также в наличии пыли в получаемом газе.

По данным работ общества Bergbauforschung/ Essen [6] осуществление процесса Winkler при

атмосферном давлении экономически невыгодно, поэтому, в настоящий момент все работы по данному направлению связаны с повышением давления в газификаторе до 5 МПа.

3. Газификация в потоке угольной пыли

Основным способом газификации пылевидного топлива является процесс Koppers-Totzek. По данным [6] уже в 80-х годах прошлого века действовало более 50 газогенераторов данного типа.

В классическом процессе Koppers-Totzek предварительно подготовленная угольная пыль с потоком кислорода и водяного пара подается в футерованную камеру газификатора. В камере угольная пыль и газифицирующая смесь движутся прямоотком. Соотношение пара и кислорода подбирается таким, чтобы температура оказалась более 1800 К и шлак расплавился. Удаление большей части шлака осуществляется в жидком виде.

До ближайшего времени способ Koppers-Totzek применяли исключительно для производства синтез-газа, направляемого на получение аммиака, однако за последние 20 лет круг направлений использования продуктов газификации был существенно расширен. Особой привлекательностью обладает, так называемый, комбинированный цикл газификации и парогазовой установки (IGCC), который позволяет повысить энергетическую эффективность использования топлива.

В настоящее время разработаны варианты процесса Koppers-Totzek при давлении 15-40 атм., что позволяет интенсифицировать процесс и повысить производительность. В данном направлении работают такие фирмы, как Shell, Siemens, Vattenfall и др.

К основным преимуществам следует отнести низкие требования к физическим и химическим свойствам загружаемого топлива, высокую производительность, простую очистку газа за счёт разложения смол при высоких температурах, жидкое шлакоудаление, высокую степень превращения углерода.

Явным недостатком является необходимость утилизации физического тепла получаемых газов, имеющих очень высокую температуру.

Аналогом процесса Koppers-Totzek является технология фирмы Siemens, внедрённая в Ки-

тае в Ningxia (производительность $5 \cdot 500 \text{ MW}_{\text{th}}$, давление 40 бар) и Jincheng (производительность $2 \cdot 500 \text{ MW}_{\text{th}}$, давление 40 бар). В обоих случаях в качестве сырья используется антрацит, а продуктом газификации является синтез-газ для химической промышленности. Есть данные о запуске в 2011 году установки для газификации в штате Иллинойс, США. Главным отличием технологии Siemens от процесса Koppers-Totzek является высокое давление в камере газификации.

Ещё одним способом газификации пылевидного топлива под давлением является способ Техасо фирмы TDC. Основной отличительной особенностью является подача топлива в виде суспензии угольной пыли с водой, которая вводится в реакционное пространство и газифицируется кислородом при температуре 1100 - 1500°C. Особое преимущество данного процесса заключается в возможности газификации не только угля, но нефти.

В качестве сравнения, в таблице 1 приведены усреднённые составы газов на выходе из различных газогенераторов для газификации бурого угля [5].

Таблица 1. Составы продуктов газификации, полученных основными автотермическими способами.

Состав, % (мольн.)	Lurgi	Winkler	Koppers-Totzek
CO	19,7	48,2	57,2
H ₂	37,2	35,2	30,7
CO ₂	30,2	13,8	10,5
CH ₄	11,8	1,8	0,1
N ₂	0,7	0,9	1,2
H ₂ S	-	-	0,3
Q _в , МДж/м ³	12,3	12,3	11,2

По данным фирмы Shell на сегодняшний день работает свыше 160 газификаторов данной фирмы на 27 заводах по всему миру, использующих в качестве сырья продукты переработки нефти, однако данные о существующих промышленных установках для газификации угольной пыли отсутствуют.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Рассмотрены основные методы газификации, использующие в качестве газифицирующего агента парокислородную смесь, такие как, газификация в плотном слое под давлением, в псевдооживленном слое и в потоке угольной пыли. Достоинствами таких способов являются высокий к.п.д. и производительность процесса.
- Парокислородная газификация угля может

получить широкое применение не только в химической промышленности, но и в электроэнергетике, в системах городского теплоснабжения, металлургии.

- В будущем, газификация, за счёт большой вариативности получаемых продуктов и высокой привлекательности с точки зрения экологии, может стать новой волной в угольной энергетике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зенютич Е.А. Энергоэффективные мероприятия по внедрению чистых угольных технологий в Центр. Азии // Отчёт по проекту ЕЭК ООН «Создание возможностей по управлению качеством атмосферного воздуха и применение чистых технологий сжигания угля в Центральной Азии», 2007.
2. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Топал А.И. Современное состояние развития чистых угольных технологий в энергетике // Энерготехнологии и ресурсосбережение. - 2009. - N 4. - С.80-88.
3. Кузнецов Б. Н. Новые подходы в химической переработки ископаемых углей // Со-
росовский образовательный журнал, №6, 1996.
4. Загруддинов Р. Ш. Исследование технологического режима газогенераторов Лурги при парокислородной газификации углей под давлением // Автореферат диссертации на соискание учёной степени ктн. - Барнаул: АлтГТУ, 2008.
5. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Яцкевич С.В. Технология сжигания угля в циркулирующем кипящем слое. - К., 1994. - 64 с. - (Препр. / Минэнерго НАН Украины. ОВПЭ ИПЭ).
6. Химические вещества из угля. Пер. с нем. / Под ред. И. В. Калечица – М.: Химия, 1980.-616с.