

А.А. Лебедев, студент гр.5ВМ5А (ТПУ)
Научный руководитель А.И. Артамонцев, к.т.н., доцент (ТПУ)
г. Томск

Снижение вредных выбросов при сжигании углей под действием низкотемпературной плазмы

Одной из основных проблем тепловых электростанций (ТЭС) является эффективное использование энергетических углей низкого качества. В последнее время ухудшение качества угля наблюдается во всем мире. В связи с этим ТЭС вынуждены использовать дополнительное высокореакционное топливо (мазут) для растопки котлов и подсветки пылеугольного факела. Практика совместного сжигания углей с мазутом не успевает за вечно растущими современными требованиями эффективности топливоиспользования и не обеспечивает требуемых эколого-экономических показателей ТЭС. К тому же при совместном сжигании мазута и угля возникает ряд технических, экономических и экологических вопросов, таких как сложности хранения и использования мазута в зимних условиях; возрастающий мехнедожог угля (10-15%); снижение КПД (брутто) (на 4-5%); повышается выход оксидов азота (на 40-50%) серы и пентаоксида ванадия [1]. Исходя из этого очевидна необходимость снижения потребления мазута на ТЭС, которого можно добиться внедрением плазменных технологий для безмазутного розжига котлов и подсветки пылеугольного факела.

Разработка плазменных технологий получила свое начало из-за особых свойств низкотемпературной плазмы, позволяющие получить в малом объеме большое количество энергии при высокой концентрации активных ионов, атомов, электронов, радикалов, положительно влияющих на скорость термохимической подготовки и сгорания угольной пыли [1].

Работа системы безмазутной растопки котла основана на нагреве и воспламенении угольной пыли низкотемпературной плазмой – нагретым ионизированным газом с температурой 3000-5000 °С. В основе технологии плазменного безмазутного розжига лежит плазменная термохимическая подготовка топлива к сжиганию осуществляемая в муфельизированном участке пылепровода перед горелкой. Часть потока пылеугольной аэросмеси, поступающей в горелку, взаимодействуя с плазмой, воспламеняется, и, окисляясь в первичном воздухе, нагревает остальную аэросмесь до температуры выхода летучих. В результате в топку котла поступает топливная смесь (горючий газ + коксовый остаток) с температурой 1200 К и выше, горение которой продолжается при взаимодействии с кислородом вторичного воздуха без использования растопочного топлива (мазута).

Низкотемпературную плазму получают в генераторах плазмы – плазмотронах. Накопленный в различных странах (США, Канада, Австралия, Россия и др.) опыт использования плазмотронов, используемых для безмазутной растопки котлов, стабилизации горения пылеугольного факела и выхода жидкого шлака, подтвердили высокую энергетическую и эколого-экономическую эффективность плазменно-энергетических технологий, в основе которых лежит применение низкотемпературной плазмы для термохимической подготовки топлив (ТХПТ) [2].

Рассмотрим подробнее экологическую составляющую использования плазменных технологий для безмазутного розжига пылеугольных котлов и подсветки факела. Впервые в мире опыт промышленного испытания плазменной подсветки проведены Ф. Блекборном (США) на блоке мощностью 200 МВт [2]. С тех пор во всем мире началась активная разработка и испытания применения плазменных технологий для различных углей. Разрабатывались различные опытные стенды, позволяющие моделировать процессы использования данной системы для определения различных показателей, в том числе и экологические. В основном эти опыты показывали содержание оксидов азота и несгоревших угольных частиц в дымовых газах.

В случае ТХПТ из органической массы углей получают высокорекреационный синтез газ ($\text{CO} + \text{H}_2$), свободный от оксидов азота и серы, а из минеральной части углей извлекаются ценные компоненты, такие как кремний, ферросилиций и др. Учитывая тот факт, что растопка котлов основана на сокращении потребления мазута или его полного отсутствия данная технология также сокращает выбросы пентаоксида ванадия. Это позволяет значительно сократить вредные пылегазовые выбросы в атмосферу [2].

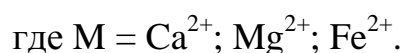
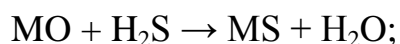
Плазменные технологии основаны на использовании углей, которые преимущественно содержат азот и серу в составе, в процессе их превращения происходит отделение функциональных групп, в которые входят азот и сера топлива. Которые в составе оксидов и загрязняют окружающую среду. Снижения вредных выбросов можно достигнуть различными путями: очисткой исходного сырья от вредных примесей, удалением оксидов серы и азота из газов и проведение процесса в условиях, когда вредные вещества образуются в меньшей степени. Третий путь решения проблемы сложен и требует глубокого понимания механизмов превращения сера- и азотсодержащих групп угля в различных процессах, таких как нагрева пылеугольной смеси низкотемпературной плазмой.

В угле сера содержится в виде пиритной серы (FeS_2) и органической серы. Последняя содержится в количестве 30-50% от общей серы. При ТХПТ происходят сложные процессы разложения пирита и органических серосодержащих групп с выделением в основном сероводорода (H_2S) [2].

Распад чистого пирита активно идет при температуре свыше 820 К, при этом образуется элементарная сера и сульфид железа. С большей скоростью пиритная сера реагирует с кислородом (при температуре 623-673 К и образует различные серосодержащие вещества (FeS, FeSO₄, Fe₂(SO₄)₃ и др.) [2].

При температурах ниже 1073 К FeS₂ реагирует с оксидом углерода с образованием FeS и COS. Также пирит взаимодействует с некоторыми органическими веществами, в том числе и с углем, при температурах около 973 К. А, в свою очередь, сера, которая содержится в органической массе угля входит в основном в состав тиофеновых (C₄H₄S и CH₄S) и сульфидных (C₆H₅S, C₇H₇S и C₁₀H₇S) групп.

При нагреве сероводород взаимодействует с минералами угля в восстановительной атмосфере по реакциям:

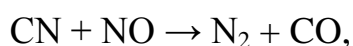
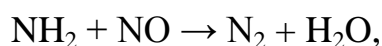
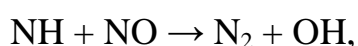


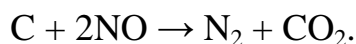
Протекание этих реакций объясняет то, что после термической обработки угля в коксе остается значительное количество серы [2].

Резюмируя все выше изложенное, можно сказать что в условиях ТХПТ проходит ряд сложных реакций с участием серы и фиксации их в коксовом остатке. Наибольшее количество серы выделяется при температурах около 1073 К (полное разложение Fe₂S₃); При температурах в районе 973 К сероводород реагирует с минералами и остается в коксе.

Азот, в отличие от серы, входит лишь в состав органической части угля, в золе он не содержится. Азотсодержащие соединения выделяются из угля после образования примерно 10% летучих. Количество выделившегося азота зависит от температуры, скорости нагрева и типа угля. К примеру, при повышении температуры от 770 до 1170 К количество азота, выделившегося в виде летучих, увеличивается от 20 до 80 % [2].

Основное снижение вредных выбросов азота происходит за счет превращения оксида NO в молекулярный азот N. Оксид азота образуется в основном за счет окисления азота, содержащегося в коксе. Превращение NO в азот происходит в результате следующих реакций:





Получается, что процесс переработки азота угля строится, в основном, на превращении $\text{NO} \rightarrow \text{N}_2$, а соотношение $\text{NO}:\text{N}_2$ основано на составе, марке угля и условиях проведения процесса (температурой и соотношением топливо: окислитель). Чем меньше это соотношение в конечных продуктах, тем лучше будет экологическая составляющая.

Для математического моделирования процессов влияния плазмотронов на изменение состава используется универсальная программа АСТРА-4. Данную программу используют для расчетов состава, теплофизических и термодинамических характеристик газовых смесей. Она основана на принципе максимума энтропии изолированных термодинамических систем, находящихся в состоянии равновесия [3].

По результатам этой программы для ЭУ, составом $\text{C} = 41,3\%$, $\text{O} = 6,47\%$, $\text{H} = 2,81\%$, $\text{N} = 0,67\%$, $\text{S} = 0,75\%$, было выявлено, что концентрация горючих компонентов нарастает с увеличением температуры процесса, составляя 50 - 70 % от газовой фазы ($T = 900 - 1200 \text{ K}$). Теплота сгорания горючего газа высока и равна 8,5-10,5 МДж/кг. Азот в основном показан как молекулярный. А концентрация его оксидов не превышает 1-5 мг/нм³ во всем интервале температур. Оксиды серы практически не образуются, и концентрация не превышает 1 мг/нм³, а выходят в газовую фазу в виде сероводорода с концентрацией менее 1 % [2].

Опытные проверки проводились на экспериментальных стендах для различных углей (канско-ачинских КАУ, экибастузских ЭУ, донецких антрацитов АШ, борлинских БУ и кузнецких КУ) показывает значительные результаты по снижению потерь тепла с мехнедожогом (q_4), а именно для АШ снижается с 15 до 4,5 %, для ЭУ – с 3,5 до 1,3 % и для БУ – с 7 до 3 %. Выход оксидов азота также уменьшается. Для ЭУ концентрация оксидов азота снизилась с 1100 до 550 мг/нм³, для БУ с 700 до 340 мг/нм³, для АШ – с 520 до 340 мг/нм³ [3].

Исходя из изложенного можно сделать вывод о пользе использования плазменных технологий в плане экологических аспектов топливосжигания по сравнению с традиционными при использовании мазута. Использование ТХПТ приводит к снижению мехнедожога в 2 - 3 раза, снижению оксидов азота в 1,5 – 2 раза. К тому же исключение мазута из технологического процесса растопки позволяет снизить выбросы пентаоксида ванадия на 90 - 95%.

Список литературы:

1. Плазменноэнергетические процессы и аппараты для безмазутного розжига и подсветки пылеугольного факела: исследования и опыт

эксплуатации / Е.И. Карпенко, С.Л. Буянтуев. – Сборник научных статей. Серия: технические науки, 1995. – 10 с.

2. Введение в плазменно-энергетические технологии использования твердых топлив / Е.И. Карпенко, В.Е. Мессерле. – Новосибирск: Наука. Сиб. Предприятие РАН, 1997. – 119 с.

3. Равновесный состав, теплофизические и термодинамические параметры элегаза и смесей элегаза с азотом / С.Л. Буянтуев, В.Е. Мессерле, Д.Е. Цыдыпов, Е.Ф. Маллаева. – Сборник научных статей. Серия: технические науки, 1995. – 4 с.

4. Плазменная безмазутная растопка котлов и стабилизация горения пылеугольного факел / М.Ф. Жуков, Е.И. Карпенко, В.С. Перегудов и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 304 с.