

УДК 621.18

**М.А. Утемесов**, Р.М. Утемесов**Низкотемпературное шлакование**

Сжигание каменных и бурых углей сопровождается загрязнением поверхностей нагрева минеральной частью топлива, что существенно ухудшает процессы конвективного и лучистого теплообмена и приводит к ряду нежелательных последствий. В частности, в результате изменения характеристик лучевоспринимающих поверхностей меняется температура газа на выходе из топочной камеры, что может привести к пережогу труб поверхностей нагрева, их шлакованию и дальнейшему нарушению работы режима парогенератора. Поэтому выяснение механизма загрязнения поверхностей нагрева весьма существенно для практики пылесжигания.

Современные методы очистки от шлаковых отложений базируются в основном на тепловом и вибрационном воздействиях на шлакующиеся поверхности. Для разработки эффективных методов борьбы с загрязнением поверхностей требуется детальное изучение процесса шлакования, в особенности на начальном этапе, когда температура в зоне шлакования существенно меньше температуры плавления золы.

Известные механизмы шлакования не могут объяснить всех наблюдаемых случаев. Обычно считалось, что для шлакования поверхностей нагрева необходимо, чтобы температура в топочном объеме была выше температуры плавления золы. Тем не менее в ряде случаев наблюдалось интенсивное шлакование поверхностей нагрева, когда температура ни в одной из зон топочного объема не превышала температуру плавления золы. Так, при сжигании экибастузского угля в открытом пылеугольном факеле наблюдалось шлакование термпары и измерительных трубок при температурах от 800 до 1000 °С. Естественно, что при таких температурах говорить о плавлении золыных частиц для экибастузского угля бессмысленно.

В блоке 1 Ермаковской ГРЭС наблюдалось интенсивное шлакование в районе горелок, где температура также была существенно ниже температуры плавления золы. Все перечисленные факты свидетельствуют о том, что процесс шлакования в этих случаях не связан с плавлением, во всяком случае основной части золы, поэтому для объяснения шлакования в интервале температур от 500 до 1200 °С необходимо привлекать иные механизмы.

Р.С. Прасолов исследовал микроструктуру шлакового образования. В результате было выяв-

лено, что шлак на поверхности нагрева в общем случае состоял из трех слоев [1]. Первичный слой образовывался в результате оседания и конденсации на поверхности нагрева легкоплавких окислов (щелочно-силикатных соединений). Первичный слой состоял из частиц размером 0.2–10 мкм, приносимых к поверхности нагрева силами термофореза. Сверху первичного слоя наносился вторичный слой из частиц недогоревшего углерода и более тугоплавких окислов.

В образовании вторичного слоя кроме силы термофореза участвовала кулоновская сила, так как конденсация окислов на поверхности нагрева сопровождалась ее отрицательной зарядкой, а до 5% углеродных частиц в топке заряжены положительно. Верхний слой шлака образовывался в результате догорания углерода во вторичном слое и состоял практически из чистой золы. Эксперименты по низкотемпературному шлакованию свидетельствовали о том, что прилипали в основном крупные частицы. Так, исследование выхода летучих фракций из угольных частиц при их быстром нагреве показало, что в ряде случаев из частицы угля выделялись смолистые вещества, которые в дальнейшем закоксовывались [5].

Выделившиеся смолистые вещества растворяли минеральные примеси, содержащиеся в угольной частице. Если частица за время выделения летучих сталкивалась с какой-либо поверхностью, то она приклеивалась к этой поверхности. В дальнейшем происходило коксование смолы, и после выгорания кокса оставалась минеральная часть, растворенная в свое время в смоле, которая и образовывала слой шлака. Крупные частицы в этом случае имели большее время выделения смолистой составляющей, а следовательно, и чаще достигали поверхность нагрева липкими, с не успевшим закоксоваться смолистым остатком.

С целью проверки предложенной схемы низкотемпературного шлакования была собрана специальная установка, общий вид и монтажная схема которой приведена на рисунке 1.

Установка собрана на базе лабораторной печи СУОЛ-0.25, поставленной вертикально. Установка состояла из вертикальной трубчатой печи 1 с устройством питания 2 и терморегулятором 3, имеющим охлаждаемое сопло 4, через которое вводилась угольная пыль. Герметизирующий колпак 5 закрывал вибрационный питатель 6 угольной пыли,

которая попадала на шлакоприемник 7, выполненный из семи нихромовых проволочек диаметром 0.6 мм. Проволочки шлакоприемника 7 располагались горизонтально на разных расстояниях от места ввода холодной угольной пыли (на 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 5, 10 и 15 сантиметров). В теплозащитном покрытии печи температура контролировалась хромель-алюмелевой термопарой 8, а температура воздуха внутри печи – платино-платинородиевой термопарой 9, термопары совместно с потенциометром РЗ7-1 10 и нормальным элементом обеспечивали тепловые измерения. Питание печи осуществлялось через понижающий трансформатор 11, дополнительная подача воздуха осуществлялась компрессором 12 с контролем расхода газовым реометром 13. Для охлаждения сопла 4 была предусмотрена подача воды через трубопроводы 14.

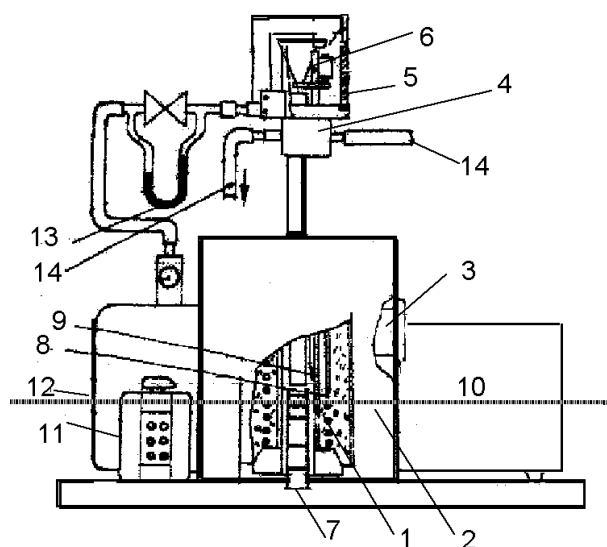


Рис. 1. Установка для исследования низкотемпературного шлакования

Принцип действия установки сводился к следующему. Угольная пыль из питателя 6 попадала в охлаждаемое сопло 4 и из него в холодном состоянии внутрь вертикальной трубчатой печи 1. По мере падения угольная пыль нагревалась и претерпевала определенные превращения. На своем пути угольные частицы сталкивались с проволочками шлакоприемника и зашлаковывали их. Опыты проводились в режиме избытка воздуха, когда угольная пыль полностью выгорала, а оставалась лишь минеральная часть, и при заметном недостатке воздуха, когда происходило коксование угольных частиц с выделением летучих и незначительным выгоранием. Во всех опытах через печь пропусклась навеска угольной пыли 5 г. Температурный диапазон исследований шлакования составлял от 500 до 1200 °С с интервалом температур в 50 °С. В качестве угольной пыли

использовался экибастузский, карагандинский и кузнецкий уголь фракции 65–100 мкм ручного пятнадцатиминутного отсева. Для березовской угольной пыли было ограничение только сверху (фракция 90 мкм составляла меньше 15%). После сжигания угольной пыли шлакоприемник извлекался, проволочки фотографировали через микроскоп типа МСТ-131 на фотопленку «Микрат-200».

В собранной экспериментальной установке не было предусмотрено искусственное охлаждение проволочек шлакоприемника, поэтому влияние на шлакование конденсации легкоплавких окислов отсутствовало [1]. Иными словами, образующийся шлак имел однослойную структуру, близкую к верхнему слою шлака в натурных условиях. При избыточной подаче воздуха шлакование начиналось на наиболее далеких от сопла проволочках. Это можно увидеть, сравнивая фотографии 1, 3 и 2, 4, приведенные на рисунке 2, для шлакования карагандинского угля при температуре 1000 °С.

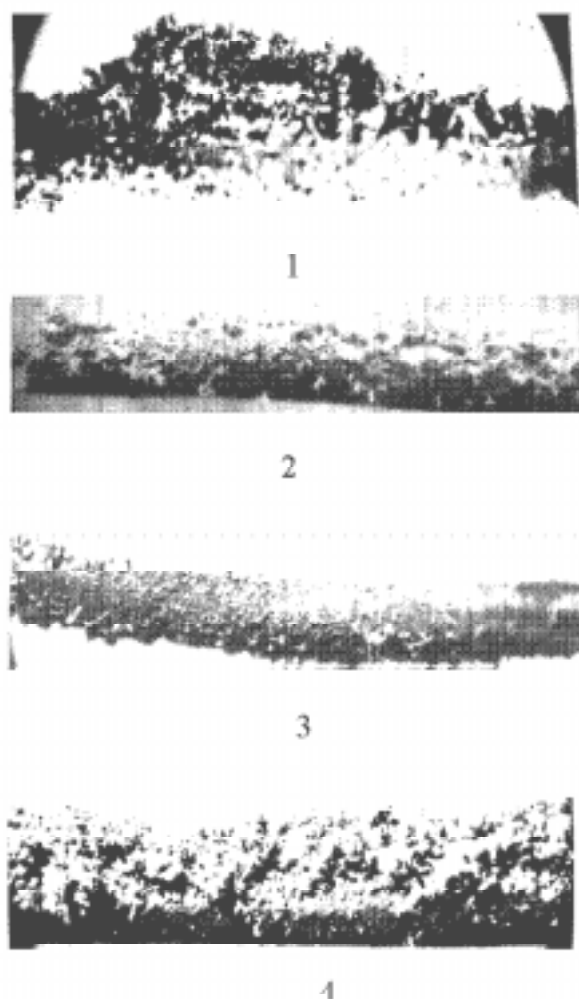


Рис. 2. Шлакование карагандинского угля при температуре 1000 °С: 1, 2 и 3, 4 – без дутья и с дутьем воздуха; 1, 3 и 2, 4 – расстояния от сопла 0.5 и 15 см

Этот факт имеет простое объяснение, связанное с увеличением скорости частиц, которые успевают достигать более отдаленных проволочек, имея незакоксувавшиеся смолистые составляющие. Для всех сортов углей без дутья воздуха обнаруживалось скачкообразное изменение количества шлака с ростом температуры. Так, для кузнечного и березовского углей имелись две температуры, при которых наблюдалось наиболее активное шлакование: 880 и 1100 °С – кузнечный уголь; 500 и 700 °С – березовский уголь. Интенсивное шлакование кузнечного угля при температуре 1100 °С, вероятно, связано с началом плавления золы. А для березовского угля температура 700 °С соответствовала воспламенению и горению угольной пыли. Как показали эксперименты, температура плавления березовского угля составляла 1300 °С. Для остальных углей температуры начала интенсивного шлакования также соответствовали температурам воспламенения. С воздушным дутьем низкотемпературное шлакование для всех углей несколько уменьшалось, скачкообразного изменения количества шлака на проволочках с повышением температуры не наблюдалось.

Шлакование плавно увеличивалось с ростом температуры. Исключение составлял березовский уголь, у которого с ростом температуры количество шлака на шлакоприемнике уменьшалось. Это отличие березовского угля связано с тем, что его фракционный состав ограничивался только сверху, а на более мелкие частицы возрастало действие адгезионных сил [6], что приводило к их осаждению. При повышении температуры мелкие частицы успевали выгорать до осаждения, и количество шлака на проволочках шлакоприемника уменьшалось. Температуры наиболее активного шлакования с дутьем воздуха несколько выше, чем без дутья. Так, для карагандинского угля эти температуры равны соответственно 1050 и 1150 °С, для кузнечного – 1050 и 1100 °С, для березовского – 600–700 и 750 °С. Экибастузкий уголь с дутьем и без дутья имел практически одинаковую температуру наиболее интенсивного шлакования, равную 1150 °С.

Температуры начала шлакования при дутье воздуха также увеличивались. Для карагандинского угля температуры начала шлакования с дутьем и без дутья равны соответственно: 750 и 900 °С, для кузнечного – 650 и 1000 °С, для экибастузкого – 750 и 950 °С. По структуре шлака, приведенного на рисунке 2, можно определить, что он образовался в результате слипания отдельных вязких и достаточно крупных частиц (сильно пористая структура с явно выраженными отдельными частица-

ми). Большие размеры частиц шлака подтверждают высказанное предположение о преимущественном низкотемпературном шлаковании крупными частицами.

Интересно отметить, что в экспериментах с кузнечным углем без дутья воздуха, начиная с температур 800 °С и выше, на проволочках шлакоприемника образовывались удлиненные стержни, комки и нити (рис. 3, фотографии 1, 2). Для карагандинского угля в этом же температурном интервале стержни и комки были менее выражены и очертания их были более расплывчатыми (рис. 3, фотография 3). У экибастузкого и березовского углей комки почти не образовывались, а шлак ровным слоем покрывал проволочки шлакоприемника (рис. 3, фотографии 4, 5). С подачей воздуха комки и нити исчезали, а шлак для всех углей распределялся по проволочкам равномерно.

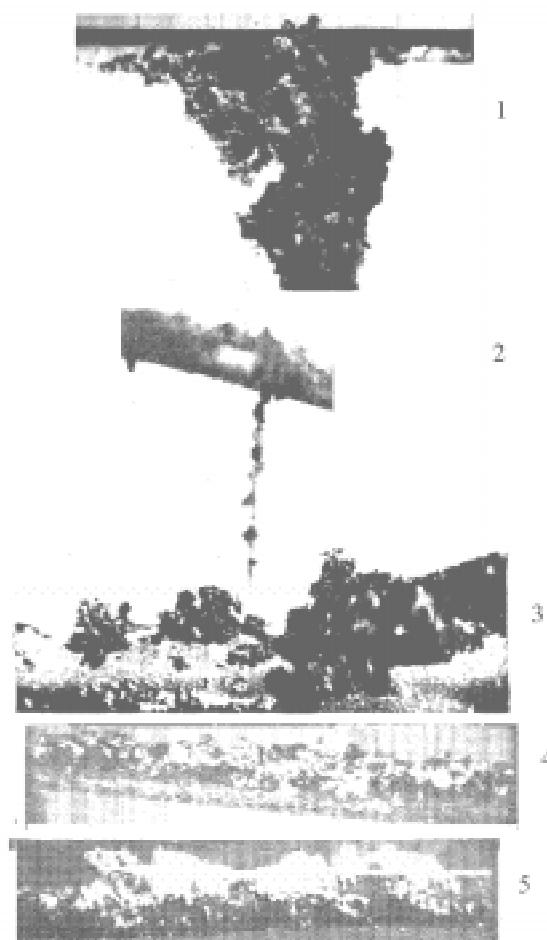


Рис. 3. Шлакование углей без дутья воздуха: 1, 2 – кузнечный уголь,  $T = 800$  °С, расстояния от сопла 2.5 и 15 см; 3, 4 и 5 – карагандинский, экибастузкий и березовские угли при температурах 800, 750 и 550 °С при расстояниях от сопла 1.5, 10 и 10 см

Таким образом, выявлено, что низкотемпературное шлакование связано с пластическим состоянием основной угольной массы и происходит при температурах ниже температуры плавления золы. Определены температурные интервалы начала и наиболее активного шлакования для кузнецкого, карагандинского, экибастузского и березовского уг-

лей. Выявленная пористая структура шлака позволяет указать на необходимость своевременного применения методов удаления шлака во избежание его спекания и затвердевания. По истечении короткого промежутка времени шлак цементируется с поверхностью нагрева, что существенно усложняет удаление шлака и очистку поверхностей.

## Литература

1. Прасолов Р.С. Масса и теплоперенос в топочных устройствах. М., 1964.
2. Бухман С.В., Крылова Н.П. Вспучивание частиц натуральных углей в процессе термической обработки

// Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. Вып. 8. Алма-Ата, 1972.

3. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. М., 1972.