

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МАЗУТА НА УСЛОВИЯ
РАБОТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЛА ПТВМ-30 М**

В отличие от твердых топлив, при сжигании которых на конвективных поверхностях нагрева образуются сыпучие отложения, специфические особенности минеральной части мазута проявляются в образовании отложений золы, прочно прилипающей к трубам.

Интенсивный занос золой конвективных, а иногда и радиационных поверхностей нагрева уменьшает их тепловосприятие, вследствие чего увеличивается температура уходящих газов, понижается КПД котла.

Для исследования механизма образования и разработки эффективных мероприятий по удалению золовых отложений с поверхности нагрева необходимо знать химический состав и прочностные свойства отложений. Для исследования химического состава отложений были взяты пробы с поверхностей нагрева котла ПТВМ-30М: из топки на уровне горелок, на выходе из топки (в зоне фестона), со второго и первого по ходу сетевой воды конвективных пучков.

Химический состав отложений определяется активационным методом на анализаторе АИ-4096-95 с полупроводниковым детектором в БелНИГРИ. Сущность метода изложена в работе [1].

Анализ химического состава выявил следующую картину распределения основных компонентов отложений (рис. 1). Как видно, основными загрязняющими компонентами являются соединения ванадия, кальция, магния, никеля. Так, содержание кальция в топке достигает 3,5–3%, далее по тракту содержание Са снижается и составляет в зоне второго конвективного пучка 2,2–2,7%, в зоне первого пучка – 2,1–2,2%. Содержание магния в отложениях на поверхностях нагрева в топке котла составило 2,2–2,1%, а в зоне второго пучка – 1,6–1,3%. Распределение никеля в отложениях противоположное по отношению к распределению Са и Mg. Если содержание соединений кальция и магния снижается по ходу газов, то содержание Ni возрастает и составляет в топке котла 1,5–1,7%, на втором пучке – 1,7–2,5%, на первом конвективном пучке – 2,5–3,6%. Содержание ванадия достигает до 65% в топке котла, на втором – 35% и 15% – на первом конвективном пучке соответственно.

Содержание соединений натрия в отложениях (в расчете на чистый Na) незначительно, не более 1%. Распределение Na по тракту котла носит экстремальный характер, достигая максимальных значений на выходе из топки (фестонированный пучок) – 1% и в концевых зонах первого конвективного пучка – 0,9%. Минимальные содержания наблюдаются в отложениях на трубах в топке на уровне горелок (0,2%) и на входных участках первого конвективного пучка (0,3%).

Распределение калия в отложениях равномерное, содержание незначительное – в пределах 0,2–0,1%.

На конвективных пучках котла наблюдается значительное содержание же-

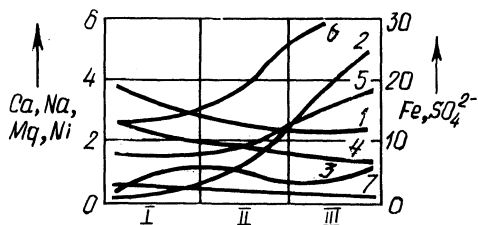


Рис. 1. Распределение основных компонентов отложений по поверхностям нагрева: 1 - SO_4^{2-} ; 2 - Fe; 3 - Ni; 4 - Ca; 5 - Mg; 6 - Na; 7 - K; I - топка, II, III - конвективные пучки

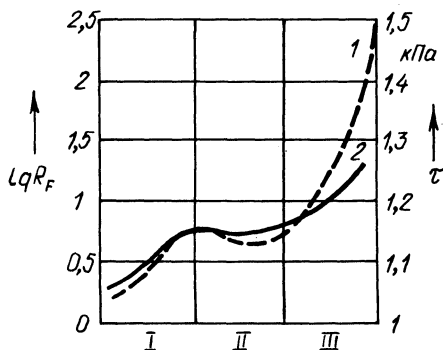


Рис. 2. Изменение фактора заноса и удельного сопротивления сдвигу отложений по поверхности нагрева: 1 - τ ; 2 - $\lg R_F$

леза в отложениях. На выходе из второго пучка содержание Fe достигает 12%, на выходных участках первого пучка до 27%.

В отложениях наблюдается значительное содержание сульфат-иона, которые достигают следующих значений: на выходе из топки - 14%, на выходе из второго пучка - 25,5, в концевых зонах первого пучка до 33-36%.

Химический состав отложений характеризует лишь их качественную структуру, не затрагивая прочностных свойств.

В зависимости от прочностных свойств отложения подразделяются на пять групп по разрывной или сдвиговой прочности при уплотнении стандартизированной нагрузкой 50 кПа [2]: неслипающиеся, слабослипающиеся, среднеслипающиеся, сильнослипающиеся, сверхслипающиеся.

Одним из показателей аутогезионной прочности отложений является удельное сопротивление сдвигу ($\tau_{сд}$). Расчетное определение удельного сопротивления выполнено с использованием формулы, предложенной в [3]:

$$\tau_0 = 1002 + 22R_2O + 0,72d_{cp} - 0,39R_F,$$

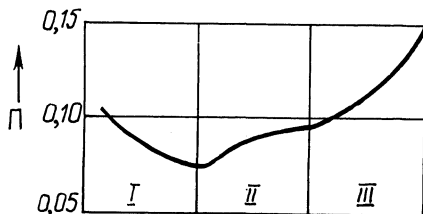
где R_2O - содержание в отложениях щелочных металлов, %; d_{cp} - средний диаметр золы частиц, $d_{cp} = 23$ мкм [4]; R_F - фактор заноса, характеризующий склонность минеральной части мазута к заносу поверхностей нагрева.

Расчет фактора заноса выполнен по зависимости [3]

$$R_F = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{R}_2\text{O} + \text{V}_2\text{O}_5}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} R_2\text{O}.$$

Здесь в числителе представлено содержание компонентов, склонных к загрязнению поверхностей, в знаменателе - содержание компонентов, нейтральных к загрязняющему воздействию. Умножение на суммарное содержание щелоч-

Рис. 3. Пористость отложений на поверхностях нагрева котла ПТВМ-30М



ных металлов подчеркивает их особую роль в активном загрязнении поверхностей нагрева.

Результаты расчета фактора заноса по поверхностям нагрева котла ПТВМ-30М представлены на рис. 2. Как видно из рисунка, фактор заноса неодинаков по поверхностям нагрева. Наибольшие значения R_F наблюдаются на выходе из топки ($R_F = 5,6$; $\lg R_F = 0,75$), а также на первом конвективном пучке (выходной участок; $R_F = 22,65$; $\lg R_F = 1,35$). В первом случае максимум R_F объясняется повышенным содержанием щелочных металлов в отложениях ($R_2O = 1,2\%$), во втором — тем же фактором ($R_2O = 1\%$), а также резко возросшим содержанием соединений железа ($Fe = 27\%$).

Результаты расчета удельного сопротивления сдвигу представлены на рис. 2. Как видно, характер изменения удельного сопротивления сдвигу такой же, как и фактора заноса: максимум на фестонированном участке ($\tau_{сд} = 1,15$ кПа) и на холодных пакетах первого конвективного пучка ($\tau_{сд} = 1,52$ кПа).

Анализ изменения фактора заноса и удельного сопротивления сдвигу отложений по поверхностям нагрева котла показывает, что заносу в основном подвержен первый конвективный пучок. Второй конвективный пучок подвержен заносу меньше. Однако максимальные значения фактора заноса ($R_F = 22,65$) и удельного сопротивления сдвигу ($\tau_{сд} = 1,52$ кПа) указывают на то, что образующиеся отложения не имеют достаточно прочной структуры.

Для более полного выявления прочностных свойств рассчитана пористость отложений по выражению [5]: $\Pi = 1 - \gamma/\gamma_{и}$, где γ — насыпная плотность отложений: $\gamma = 3060-3170$ кг/м³ (см. [6]); $\gamma_{и}$ — истинная плотность отложений без учета внутренней пористости.

Истинная плотность отложений определена из предположения, что отложения представляют собой смесь компонентов. Плотность компонентов отложений принимаем по [7, 8]. Насыпная плотность отложений, определенная экспериментально, находилась на уровне 3085—3170 кг/м³. Пористость отложений, рассчитанная по предложенной методике, достаточно высокая (рис. 3).

Наименьшую пористость отложения имеют на фестонированном участке на выходе из топки ($\Pi = 0,037$), наибольшую на выходном участке первого конвективного пучка ($\Pi = 0,143$). На втором конвективном пучке пористость отложений составляет 0,073—0,097. При этом в холодной части второго пакета пористость повышается незначительно, в пределах 3—5%.

Снижение пористости отложений на фестоне котла определяется повышенным содержанием по отношению к другим участкам соединений натрия (до 1%). На относительно холодных поверхностях происходит конденсация паров

натрия с образованием легкоплавких эвтектик и пиросульфитов с участием соединений ванадия, кальция. Как правило, образующиеся соединения представляют собой коркообразную массу. Это способствует снижению пористости отложений. Однако ввиду невысокого содержания натрия в отложениях последние имеют достаточно высокую пористость. Это способствует тому, что они легко удаляются с поверхностей нагрева.

Использование в качестве топлива сернистого мазута способствует образованию в газах серного ангидрида, который при соединении с парами воды образует серную кислоту.

Для среднеэксплуатационной нагрузки котла ПТВМ-30М ($Q = 25-27$ МВт) на основании экспериментальных данных при избытке воздуха, равном 1,13, имеем содержание серного ангидрида в газах перед вторым пучком, равную 1,75–1,80 Па. С учетом изменения содержания серного ангидрида по тракту котла с использованием [9] получим скорость коррозии металла поверхности нагрева свободной от отложений 2,01 мг/(м² · с) (температура стенки принята равной 85 °С).

Дополнительные исследования показали, что скорости коррозии поверхности нагрева, покрытой слоем отложений $S_{кор}^{отл}$ и свободной от последних $S_{кор}$, пропорциональны: $S_{кор}^{отл} = S_{кор} K_{пр}$, где $S_{кор}$ – скорость коррозии поверхности, свободной от отложений; $K_{пр}$ – коэффициент, учитывающий влияние слоя отложений [9].

Для условий, указанных выше, получаем $S_{кор}^{отл} = 0,205$ мг/(м² · с).

Расчетный срок службы нижнего конвективного пакета при сжигании сернистого мазута составит 3,60 г. при среднегодовой эксплуатации котла, равной 4380 ч. Данное значение действительно для случая эксплуатации котла только на мазуте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боуэн Г., Гиббонс Д. Радиоактивный анализ. – М.: Атомиздат, 1968. – 360 с.
2. Щелчков Я.М., Аввакумов А.М., Сазыкин Ю.К. Очистка поверхностей нагрева котлов утилизаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
3. Карницкий Н.Б. Исследование физико-химических процессов в топках и конвективных газоходах газомазутных котлов и повышение их надежности и экономичности: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Мн., 1983. – 18 с.
4. Разработка и испытания опытного электрофильтра для очистки газа при сжигании мазута / И.А. Кизим, Б.В. Золотарев, В.С. Гаврилов, Б.А. Ершов // Электр. станции. – 1984. – № 9. – С. 23–25.
5. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. – М.: Химия, 1976. – 432 с.
6. Новоселов С.С., Гаврилов А.Ф., Шестаков А.Ю. Исследование процесса улавливания твердых частиц, образующихся при сжигании мазута, в инерционных аппаратах // Теплоэнергетика. – 1980. – № 10. – С. 49–51.
7. Будников П.П. Реакции в смесях твердых растворов. – М.: Стройиздат, 1971. – 488 с.
8. Прасолов Р.С. Наружные отложения на поверхностях нагрева котлоагрегатов. – М.; Л.: Машгиз, 1958. – 296 с.
9. Жихар Г.И., Крупнов В.П. Низкотемпературная коррозия поверхностей нагрева котлов при сжигании сернистого мазута // Изв. вузов. Энергетика. – 1986. – 10 с. – Деп. в ИНФОРМЭНЕРГО № 2176 ЭН.