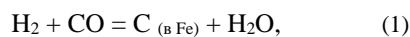


УДК: 621.793

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЕЧНОЙ АТМОСФЕРЫ Виленчиц Б.Б., Попов В.К.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ  
Минск, Республика Беларусь

Процесс цементации происходит согласно реакциям, приведенным в порядке возрастания их скорости.



Реакция (3) протекает с другим углеродным потенциалом со скоростью, определяемой температурой и относительным уровнем метана ( $\text{CH}_4$ ), для получения «добавки» к углеродному потенциалу по реакциям (1) и (2). Реальный углеродный потенциал является результатом кинетического баланса между реакциями (1), (2) и (3).

Реакции (1) и (2) могут работать в направлении обезуглероживания, в то время как реакция (3) протекает только в направлении науглероживания. Однако, чаще всего все три реакции работают в одном направлении, но с разной скоростью. Результирующий углеродный потенциал печной атмосферы определяется их кинетическим балансом.

Таким образом углеродный потенциал в печной атмосфере может быть определен функцией содержания трех газов: окиси углерода ( $\text{CO}$ ), диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и  $\text{CH}_4$ .

Наиболее распространенным способом измерения этих газов с точностью, требуемой в производственной среде, является технология инфракрасного газового анализа. Существенным недостатком для практического применения этой технологии является необходимость транспортировки образца печной атмосферы к анализатору.

В последнее время во многих приложениях для контроля печной атмосферы широко используются кислородные зонды. Кислородный зонд является единственным сенсором, доступным для измерения газа на месте при науглероживании. Точность измерения углеродного потенциала кислородным зондом по существу такая же, как и при измерении  $\text{CO}_2$  или  $\text{H}_2\text{O}$ . Все методы требуют измерения содержания  $\text{CO}$ . Кроме того, ни один из этих методов не может определить влияние на процесс цементации  $\text{CH}_4$  согласно реакции (3).

Наконец, все описанные методы могут обладать собственными ошибками измерения. Так, например, измерения точки росы могут быть неточными из-за конденсации, либо наличия гигроскопических материалов в системе отбора проб газа.

Кислородные зонды имеют другую проблему. Внешний электрод зонда должен быть хорошим

электрическим проводником, который обычно изготавливается из тугоплавкого металла. Тем не менее, металлы, которые могут быть использованы, имеют побочный эффект, действуя как катализатор разложения  $\text{CH}_4$  в точке измерения. Это приводит к увеличению ЭДС зонда. Причем величина ошибки возрастает с увеличением содержания  $\text{CH}_4$  в атмосфере. Этот эффект можно свести к минимуму путем выбора материалов, но остается значительная неопределенность в измерении кислорода в атмосферах, содержащих более 1 %  $\text{CH}_4$ .

Несмотря на то, что кислородные зонды удобны и отличаются малой инерционностью, они способны обеспечить точность измерений не более  $\pm 0,17$  % от величины содержания углерода на поверхности металла. В то время как для высокоточного науглероживания нужна точность  $\pm 0,07$  %.

На результат процесса науглероживания могут повлиять неучтенные изменения уровня  $\text{CO}$  и  $\text{CH}_4$ .

Любой из них может привести к заметным изменениям в результатах науглероживания, в то время как комбинации могут быть как самокомпенсирующимися, так и аддитивными. Конечным результатом является изменение профиля углерода.

Изменение содержания  $\text{CO}$  при науглероживании напрямую влияет на точность углеродного потенциала, определенного с использованием кислородного зонда, инфракрасного анализатора  $\text{CO}_2$  или точки росы.

Профиль на рисунке 1 показывает, что как глубина науглероживания, так и поверхностный углерод в значительной степени зависят от изменения  $\text{CO}$ . Несмотря на то, что уровень  $\text{CO}$  в эндогазе, как правило, относительно постоянен и составляет от 19 до 21 %, другие факторы могут привести к падению его уровня. Например, добавление 10 % от общего расхода эндогаза обогащающего или разбавляющего газа автоматически снизит содержание  $\text{CO}$  с 20 % до 18 %. Утечки в печи и загрузки с большой площадью поверхности также снижают уровень  $\text{CO}$ .

Хотя уровень свободного  $\text{CH}_4$  в печной атмосфере трудно предсказать, для различных типов науглероживающих печей можно указать диапазоны [1]:

– от 1 до 7% для периодической встроенной закалочной печи, работающей при 925 °С,

– от 5 до 18% для конвейерной печи, работающей при 900 °С,

– от 0,1 до 2% для шахтной печи, работающей при 980 °С,

– от 2 до 15% для толкательной печи, работающей при 955 °С.

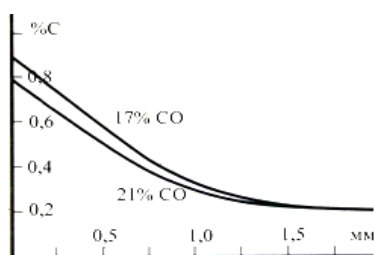


Рисунок 1 – Зависимость профиля углеродного потенциала от содержания CO

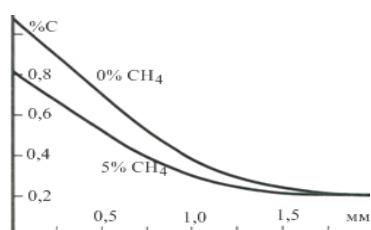


Рисунок 2 – Зависимость профиля углеродного потенциала от содержания CH<sub>4</sub>

Количество свободного CH<sub>4</sub> в печи является функцией утечки в печи, каталитических свойств печи, температуры, площади поверхности загрузки и требуемого углеродного потенциала. В конечном счете, конечно, уровень свободного CH<sub>4</sub> во многом является результатом количества обогащающего газа, добавляемого в атмосферу.

При низких уровнях свободного CH<sub>4</sub> (< 1 %) в печной атмосфере его эффекты можно смело игнорировать. Однако по мере увеличения содержания CH<sub>4</sub> эффект постепенно становится более значительным, пока на уровнях более 10 % он не станет доминирующей силой цементации.

В данном случае рассматривалось влияние содержания свободного CH<sub>4</sub> в диапазоне от 0 до 5 %. Как показано на рисунке 2 изменение в содержании свободного CH<sub>4</sub> оказывает гораздо большее влияние на результаты науглероживания, чем любой из других параметров.

УДК 531.383

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ГИРОСКОПОВ (ВТГ) С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ

Распопов В.Я.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»  
Тула, Российская Федерация

По сравнению с другими типами гироскопов волновой твердотельный гироскоп (ВТГ) обладает следующими преимуществами: рабочий

Фактически, свободный CH<sub>4</sub> является основной причиной изменения как глубины науглероживания, так и величины поверхностного углерода, наблюдаемого в процессе цементации.

Основная причина, по которой кислородные зонды настолько популярны в настоящее время, заключается в том, что им не требуется транспортировка пробы газа из печи в газоанализатор анализатор. Действительно, неисправности могут возникать и случаются в системах отбора проб газов ИК-анализаторов, но риски можно минимизировать еще на стадии проектирования и монтажа системы, которая будет такой же надежной, как и кислородный зонд.

Основными источниками потенциальных неисправностей при использовании инфракрасных газоанализаторов, являются конденсация воды в любом месте системы и склонность к образованию сажи в газоотборной трубке, когда образец проходит через стенку печи..

Осаждение сажи предотвращается сочетанием быстрого охлаждения образца и выбора материала зонда для пробы, проходящего через стенку, который должен быть достаточно гладким, чтобы предотвратить зарождение углеродных частиц. Хорошо подходят обычные трубки из кварцевого стекла.

Системы отбора проб требуют использования фильтров. Для контроля расхода площади поверхности фильтра в системе отбора пробы могут использоваться датчики потока. Они могут показывать необходимость замены фильтрующих материалов.

Газоаналитические многоточечные системы используются для снижения затрат на точку измерения и обычно конкурируют с системами на основе кислородного зонда. Но для повышения точности и снижения времени отклика измерений мультигазовая многоточечная система может объединяться с системой, использующей кислородные зонды.

### Литература

1. Grochowski J. New Facility and Improved Control System for Furnace Atmosphere Processing at Commercial Heat Treating Plant / J. Grochowski // Industrial Heating. – 1994. – № 9. – P 151–154.

ресурс достигает 15000 часов и более; небольшие вес и габариты (20–80 г при диаметре 10–40 мм); малая энергоёмкость (несколько Вт); малое время