

ВЫВОД

Настоящее исследование лишь уточняет общую картину протекания процесса сгорания в закрытом сосуде. Полученный объем информации из-за сложности самого процесса горения не дает возможности активного воздействия на развитие отдельных стадий процесса в желаемом направлении. Однако можно полагать, что применение скоростного фотографирования в совокупности с другими методами исследований приведет в дальнейшем к возможности управления этим сложным и весьма важным процессом – горением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г о р е н и е модифицированных топлив в модели камеры сгорания ДВС / М. С. Ассад [и др.] // Тепло- и массообмен: сб. науч. тр. / Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси. – Минск, 2005. – С. 100–105.
2. Л ь ю и с, Б. Горение, пламя и взрывы в газах / Б. Льюис, Г. Эльбе. – М.: Мир, 1968. – 592 с.
3. С о к о л и к, А. С. Самовоспламенение, пламя и детонация в газах / А. С. Соколик. – М.: АН СССР, 1960. – 428 с.
4. М а т е м а т и ч е с к а я теория горения и взрыва / Б. Я. Зельдович [и др.]. – М.: Наука, 1980. – 478 с.

Представлена кафедрой
физико-математических дисциплин

Поступила 10.10.2007

УДК 543.271

О ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА ТВЕРДОЭЛЕКТРОЛИТНЫМИ СЕНСОРАМИ

Канд. техн. наук, доц. НАЗАРОВ В. И., асп. МАЛАФЕЙ В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Работа твердоэлектродного сенсора основана на использовании свойств высокотемпературной гальванической ячейки, обладающей кислородной проводимостью. Сенсор состоит из твердого электролита – двуокиси циркония, стабилизированного окисью итрия, находящегося между двумя металлическими электродами (платина или редкоземельные элементы), которые омываются газовыми смесями с различными парциальными давлениями кислорода. Один электрод (отрицательный) омывается эталонным газом (атмосферным воздухом), а второй электрод (положительный) – потоком дымовых газов. Помещенный в дымовые газы твердоэлектродный сенсор развивает ЭДС зависящую от температуры газов и парциального давления содержащегося в них кислорода. Кислородная проводимость сенсора сохраняется в диапазоне температур 600–1000 °С. Развиваемая сенсором ЭДС подчиняется термодинамическому уравнению Нернста,

$$E = \frac{RT}{4F} \lg \frac{C_{O_{2\text{тр}}}}{C_{O_{2\text{ан}}}}, \quad (1)$$

где R – газовая постоянная; T – температура сенсора, К; F – константа Фарадея; $C_{O_{2\text{тр}}}$, $C_{O_{2\text{ан}}}$ – процентное отношение содержания кислорода соответственно в эталонном и анализируемом газах, % об.

При использовании в расчетах эталонного газа атмосферного воздуха с концентрацией $C_{O_{2\text{тр}}} = 20,86$ % об. ЭДС, развиваемая сенсором, рассчитывается по формуле

$$E = 0,0496T \lg \frac{20,86}{C_{O_{2\text{ан}}}}. \quad (2)$$

Для твердоэлектrolитных сенсоров имеет место существенное влияние на погрешность неравномерности температурного поля в зоне электродов сенсора. На рис. 1 приведено температурное поле твердоэлектrolитной пробырки при расходе воздуха в зону сенсора 63 л/ч.

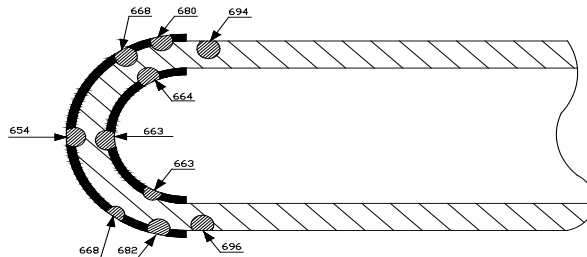


Рис. 1. Температурное поле в зоне электродов твердоэлектrolитной пробырки при расходе смеси $G = 63$ л/ч

Такая неравномерность приводит к появлению паразитной ЭДС асимметрии. В большей части ЭДС асимметрии вызывается изменяющейся скоростью подвода газовой смеси в зону сенсора, т. е. величиной объемного расхода.

В табл. 1 приведены экспериментальные данные по зависимости ЭДС асимметрии от объемного расхода газовой смеси, подаваемой в зону сенсора.

Данные были получены для воздуха при температуре в зоне сенсора 973 К.

Таблица 1

G , л/ч	10,6	17,4	24	31	38	44,6	70
$\Delta E_{\text{а.с}}$, мВ	3,8	3,8	3,9	4,4	4,6	4,8	6,1

При расходах газовой смеси больше 24–26 л/ч наблюдали устойчивый рост $\Delta E_{\text{а.с}}$. При расходах газовой смеси до 20–24 л/ч, что обеспечивается естественной конвекцией, ЭДС асимметрии имеет стабильное значение и как систематическая погрешность может учитываться при измерении объемной концентрации кислорода в смеси (рис. 2).

Что же касается точности стабилизации температуры в зоне сенсора, то здесь наблюдается относительно несущественное ее влияние на погрешность измерения.

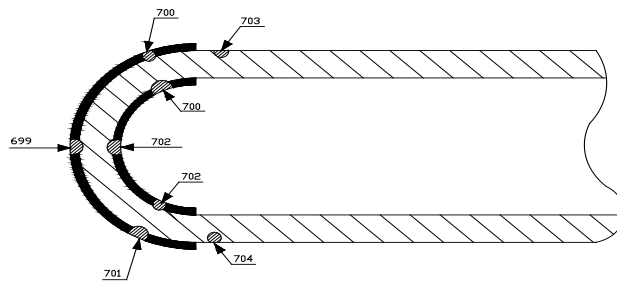


Рис. 2. Температурное поле в зоне электродов твердоэлектролитной пробирки при расходе смеси $G = 17,4$ л/ч

Экспериментально были определены поправки к абсолютной погрешности измерения концентрации кислорода на один градус изменения температуры в зоне сенсора при различных концентрациях газовых смесей, подаваемых в зону сенсора. Результаты эксперимента приведены на рис. 3.

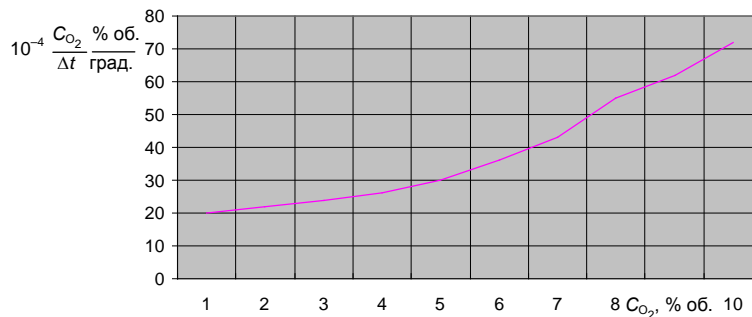


Рис. 3. Поправка к абсолютной погрешности измерения O_2 на один градус изменения температуры в зоне сенсора

Исходя из полученных данных, следует, что высокая точность измерения температур в зоне сенсора целесообразна при измерении малых концентраций кислорода в смеси менее 0,05–0,1 % об.

Измерение очень малых концентраций кислорода (менее 0,05 % об.) сопровождается высокой кислородной проницаемостью твердого электролита из-за большой разницы парциальных давлений O_2 в газовой смеси и воздухе, который обычно используется как эталонный газ.

Здесь погрешность измерений может достигнуть существенных значений. На рис. 4 приведена экспериментальная зависимость относительной диффузионной погрешности от концентрации кислорода в газовой смеси.

В ходе эксперимента газовые смеси с концентрациями 0,049; 0,032; 0,011 % об. подавались в зону сенсора с постоянным расходом, равным 20 л/ч. Температура в зоне сенсора поддерживалась $700 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Расчетная зависимость относительной диффузионной погрешности будет иметь вид

$$\frac{\Delta C_{O_2}}{C_{O_2}} = a e^{-b C_{O_2}}, \quad (3)$$

где a и b – коэффициенты, зависящие от состава твердоэлектролитной ячейки (для Zr_2O_3 $a = 15$; $b = 63$).

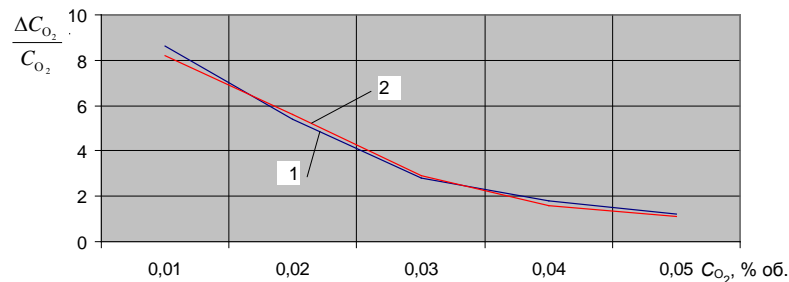


Рис. 4. Зависимости относительной диффузионной погрешности от концентрации кислорода в газовой смеси: 1 – экспериментальная; 2 – расчетная

При применении в твердоэлектrolитной ячейке в качестве эталонного газа воздуха необходимо иметь в виду, что использование твердоэлектrolитного газоанализатора в загазованных помещениях приведет к появлению дополнительной погрешности

$$\frac{\Delta C_{O_2}}{\Delta C_{O_{2\text{возд}}}} = 10^{-\frac{E}{48,261}}, \quad (4)$$

где ΔC_{O_2} – абсолютная погрешность измерения концентрации кислорода в газовой смеси, вызванная отклонением концентрации кислорода в воздухе, % об.; $\Delta C_{O_{2\text{возд}}}$ – абсолютное отклонение концентрации кислорода в воздухе, % об.; E – ЭДС, развиваемая сенсором.

На рис. 5 приведена экспериментальная зависимость относительной погрешности измерения O_2 в газовой смеси от концентрации кислорода в газовой смеси. В ходе эксперимента воздух был заменен газовой смесью с концентрацией $O_2 = 20,1$ % об., которая подавалась внутри твердоэлектrolитной пробирки с расходом, равным 10 л/ч.

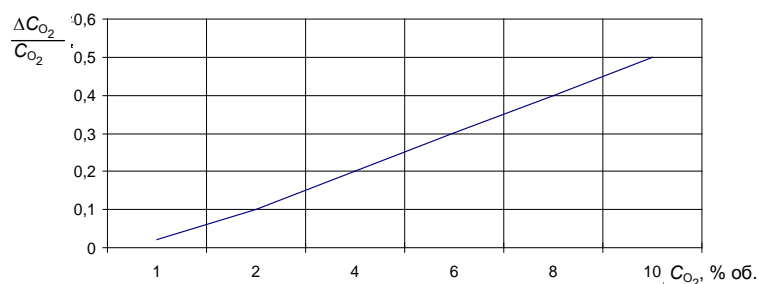


Рис. 5. Зависимость относительной погрешности измерения кислорода в газовой смеси от концентрации кислорода в газовой смеси

ВЫВОД

Приведены дополнительные погрешности при измерении кислорода твердоэлектrolитной ячейкой, вызванные изменением: температуры в зоне сенсора, расхода газовой смеси подаваемой в зону сенсора, парциального напора и колебаний концентраций кислорода в воздухе.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 10.10.2007