

КИНЕТИКА ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ОЗОНА В ПЛАЗМЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА В СМЕСИ ВОЗДУХ/МЕТАН

Торбин А. П.^{1,2}, Демьянов А.В.³, Кочетов И.В.³, Михеев П.А.^{1,2}

¹Самарский университет, г. Самара

²Самарский филиал ФИАН, г. Самара

³ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Россия, г. Москва, г. Троицк, torbin.ap@yandex.ru

Ключевые слова: диэлектрический барьерный разряд, плазменно-иницированное горение, озон.

Плазменное, химическое или лазерное инициирование и поддержание горения в энергетических установках, работающих на обедненных топливно-воздушных смесях (ТВС), являются перспективными направлениями развития существующих топливно-сжигающих установок [1]. Относительно недавно появились работы, в которых экспериментально продемонстрированы возможности использования диэлектрического барьерного разряда (ДБР) в процессах горения – для подавления образования сажи [2], для увеличения скорости горения бедных ТВС [3] и снижения концентраций вредных выбросов окислов азота [4]. Ключевым компонентом, отвечающим за ускорение процессов горения при использовании ДБР выступает атомарный кислород. Однако измерение концентраций кислорода является относительно сложной экспериментальной задачей, поэтому для анализа и моделирования потенциального влияния ДБР на горение был выбран озон, образующийся в трехчастичном процессе $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$. По выходным концентрациям озона можно делать выводы о содержании атомарного кислорода в смеси. Целью представленной работы являлось экспериментальное измерение концентраций озона на выходе ДБР в смесях воздуха с метаном и создание кинетической модели формирования и разрушения озона.

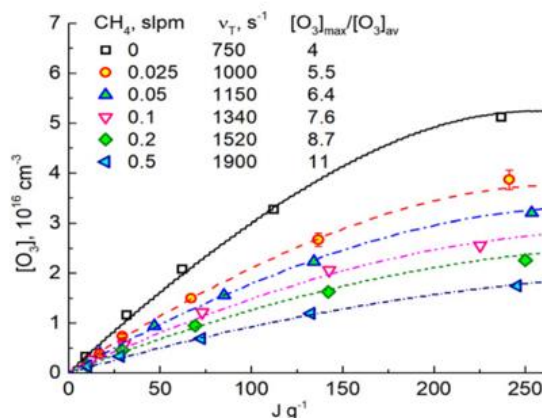


Рисунок 1 – Сравнение экспериментально полученных зависимостей концентраций O₃ на выходе ДБР в смеси

В качестве примера на рис. 1 представлены типичные измеренные зависимости концентраций озона на выходе ДБР в смеси воздух/CH₄ от мощности разряда и результаты численного моделирования. Нарботка озона осуществлялась в ДБР коаксиального типа, состоящего из кварцевой трубки, внутреннего алюминиевого электрода и внешнего электрода в виде кольца из стальной сетки. Ширина разрядного промежутка составляла 1 мм, а резонансная частота – 70 кГц. Концентрация озона измерялась по поглощению УФ излучения от светодиода. Расчеты проводились с помощью пакета программ Chemical Workbench (СWB 4.3.26294, www.kintech.ru). Модель включает в себя систему кинетических уравнений для заряженных (электронов, положительных и отрицательных ионов) и нейтральных частиц, а также продуктов их взаимодействия в энергообменных и химических процессах. В модели учитывается более 400 процессов. Микроструктура разряда учитывалась как отношение суммарной площади серии микрозарядов к общей площади разряда. Из анализа полученных экспериментальных данных и результатов моделирования следует, что O₃ в ДБР образуется

преимущественно в области поверхностного разряда из-за того, что температура там существенно ниже, чем в филаментах.

Хорошее согласие экспериментальных результатов и моделирования в воздухе и смесях воздух/ CH_4 получено в предположении, что микроразряды ДБР возникают не хаотично в пространстве, а перемещаются вдоль по потоку так, что каждый следующий микроразряд распространялся “по следу” предыдущего. Однако, для корректного описания концентраций озона в кислороде и в смесях O_2/CH_4 распределение микроразрядов должно быть принято стохастическим. В настоящее время не существует объяснения для данного механизма «эффекта памяти» в воздухе и его отсутствия в кислороде. По этой причине толщина области поверхностного разряда l_s в модели является подбираемым параметром, который учитывается при вычислении величины частоты тепловых потерь $\nu_T = 8\lambda/c_p l_s^2$, где c_p – теплоемкость газа, λ – теплопроводность. Подробнее с результатами и описанием модели можно ознакомиться в работе [5].

Список литературы

1. Advances in plasma-assisted ignition and combustion for combustors of aerospace engines / Li M., Wang Z., Xu R., Zhang X., Chen Z., Wang Q. // *Aerosp. Sci. Technol.* 2021. Vol. 117. P. 106952.
2. Soot suppression by nonthermal plasma in coflow jet diffusion flames using a dielectric barrier discharge / Cha M.S., Lee S.M., Kim K.T., Chung S.H. // *Combustion and flame.* 2005. V. 141, № 4. P. 438-447.
3. Burning velocity measurement of lean methane-air flames in a new nanosecond DBD microplasma burner platform / Elkholy A., Shoshyn Y., Nijdam S., van Oijen J.A., van Veldhuizen E.M., Ebert U., de Goey L.P.H. // *Experimental Thermal and Fluid Science.* 2018. V. 95. P. 18-26.
4. Technologies for the nitrogen oxides reduction from flue gas: A review / Gholami F., Tomas M., Gholami Z., Vakili M. // *Sci. Total Environ.* 2020. Vol. 714. P. 136712.
5. Ozone production in a dielectric barrier discharge in air-and oxygen–methane mixtures / Torbin A.P., Demyanov A.V., Kochetov I.V., Mikheyev P.A., Mebel A.M. // *Plasma Sources Science and Technology.* 2022. Vol. 31. № 3. P. 035017.

Сведения об авторах

Торбин Алексей Петрович, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник СФ ФИАН. Область научных интересов: кинетика элементарных процессов в области горения и плазме.

Демьянов Андрей Владимирович, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник ТРИНИТИ. Область научных интересов: математическое моделирование плазмы.

Кочетов Игорь Валерианович, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник ТРИНИТИ. Область научных интересов: математическое моделирование плазмы.

Михеев Павел Анатольевич, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник СФ ФИАН. Область научных интересов: лазерная физика, физика низкотемпературной плазмы.

IMPLEMENTATION OF BARRIER DISCHARGE INTO A METHANE-AIR FLAME

Torbin A.P.^{1,2}, Demyanov A.V.³, Kochetov I.V.³, Mikheev P.A.^{1,2}

¹Samara National Research University, Samara, Russia

²Lebedev Physical Institute, Samara Branch, Samara, Russia torbinalex@gmail.com

³SRC RF Troitsk Institute for Innovation and Fusion Research, Troitsk, Moscow, Russia

Keywords: dielectric barrier discharge, plasma-assisted combustion, ozone.

The purpose of this work was to measure experimentally the ozone number densities at the DBR afterglow in air–methane mixtures and to create a kinetic model for the formation and destruction of ozone.