ŋqdqɐeɎ bɆ dәdɆbɎɜә d ɕɔɑbɔɐ ɈqddɎqɐè

УДК 62-622:536.46:539.196.5

ОБ УСКОРЕНИИ ГОРЕНИЯ ВОДОРОДОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ МОЛЕКУЛ O_2 В СОСТОЯНИЕ $a^1\Delta_g$

В. Е. Козлов, А. М. Старик, Н. С. Титова

Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова, 111116 Москва, star@ciam.ru

Анализируется возможность увеличения скорости распространения ламинарного пламени в водородовоздушной смеси при возбуждении молекул O_2 в синглетное состояние $a^1\Delta_g$. Показано, что наличие в кислороде 10 % молекул $O_2(a^1\Delta_g)$ приводит к заметному (до 50 %) ускорению выгорания смеси. При этом увеличивается температура продуктов сгорания, а также концентрации H_2O, NO и других компонентов смеси. Наибольшее влияние молекул $O_2(a^1\Delta_g)$ проявляется при горении бедных смесей, наименьшее — богатых. Обусловлены эти эффекты интенсификацией цепного механизма при наличии в водородовоздушной смеси сверхравновесного количества возбужденных молекул $O_2(a^1\Delta_g)$.

Ключевые слова: водородовоздушная смесь, синглетный кислород, ламинарное пламя.

ВВЕДЕНИЕ

Возможность управления процессами воспламенения и горения различных смесей путем возбуждения колебательных либо электронных степеней свободы реагирующих молекул достаточно давно обсуждается в литературе [1–3]. Известно, что колебательно- и электронно-возбужденные молекулы в десятки и даже сотни раз более реакционноспособны, чем невозбужденные [4–6]. Ранее было показано, что возбуждение колебаний молекул или их электронных состояний может приводить к снижению температуры воспламенения, уменьшению периода индукции, инициированию детонационной волны в сверхзвуковом потоке на небольших расстояниях от зоны воздействия и даже позволяет увеличить эффективность преобразования химической энергии в тепловую [3, 7, 8]. При этом оказалось, что весьма значительного сокращения временны́х и пространственных характеристик процесса можно добиться при небольших значениях энергии, затраченной на возбуждение реагентов.

Весьма эффективным методом ускорения процесса воспламенения является использование электронно-возбужденных молекул O_2 ($O_2(a^1\Delta_g)$ и $O_2(b^1\sum_g^+)$) для интенсификации цепных реакций в водородовоздушных и углеводородовоздушных смесях. Возбужденные молекулы $O_2(a^1\Delta_g)$ и $O_2(b^1\sum_g^+)$ являются метастабильными и образуются в электрическом разряде при воздействии на молекулярный кислород резонансного лазерного излучения либо при фотодиссоциации молекул O_3. Как в электрическом разряде, так и при фотодиссоциации озона синглетный кислород образуется в основном в состоянии $O_2(a^1\Delta_g)$, молекулы же $O_2(b^1\sum_g^+)$, также присутствующие в кислородной плазме, в результате реакции тушения все равно переходят в более низкое энергетическое состояние $O_2(a^1\Delta_g)$.

Одной из важнейших фундаментальных характеристик в теории горения является скорость распространения ламинарного пламени, которая, по сути, показывает скорость выгорания смеси и используется для анализа различных процессов: погасания пламени, стабилизации горения и др. Увеличение скорости выгорания смеси — исключительно важная задача, поскольку современная техника требует создания более компактных и энергоемких камер сгорания с высокой теплонапряженностью. Поэтому представляет интерес определить, как присутствие возбужденных молекул синглетного кислорода $O_2(a^1\Delta_g)$ в горючей смеси может повлиять на скорость распространения ламинарного пламени. Такой анализ на примере водородовоздушной смеси и проводится в данной работе.

Следует отметить, что ранее в [9] было экспериментально обнаружено увеличение скорости пламени в очень бедных водородокислородных смесях при низком давлении в случае воздействия электрическим разрядом. И хотя

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 05-01-00355, 06-08-81038), а также при частичной поддержке МНТЦ (проект № 2740).

ŋqdqɐeɎ bɆ dәdɆbɎɜә d ɕɔɑbɔɐ ɈqddɎqɐè