Ингибирование стимулированного плазмой воспламенения водород-кислородных смесей

Н.Л. Александров1, С.О. Белов1, С.В. Киндышева1, И.Н. Косарев1, А.Ю. Стариковский2

1Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Московская область,
 Россия, ilyakosarev@gmail.com
2Принстонский университет, Принстон, США, astariko@princeton.edu

Ингибирование воспламенения и горения используется в практических приложениях, когда необходимо предотвратить неконтролируемые процессы. Для ингибирования могут использоваться небольшие добавки некоторых углеводородов [1]. В настоящей работе исследовалось ингибирующее действие добавления этилена на воспламенение водорода при воздействии неравновесной низкотемпературной плазмы. Исследования такого типа, кроме возможной практической направленности, позволяют лучше понять механизмы стимулированного плазмой воспламенения горючих смесей.

Эксперименты выполнялись на установке, подробно описанной в [2]. Она представляла собой ударную трубу с разрядной секцией. Исследовались стехиометрические смеси H2 : O2 : Ar : He без добавления и с добавлением малых долей С2Н4. Воспламенение происходило за отраженной ударной волной. При этом рассматривались как случаи автовоспламенения, так и воспламенения после высоковольтного наносекундного разряда, развивающегося в виде ионизационной волны и создающего однородную плазму. Давление и температура смеси за фронтом ударной волны восстанавливались по измерениям скорости ее движения. Датчиками измерялись электрическое поле в разряде и разрядный ток в зависимости от времени. Время задержки воспламенения измерялось по излучению радикала ОН. Анализ измерений показал, что малые (0,1%) добавки С2Н4 могут приводить к существенному увеличению времени задержки воспламенения. Эффект проявляется как в случае автовоспламенения, так и воспламенения под действием разряда.

Исследуемые процессы изучались и с помощью численного моделирования в рамках нульмерной модели. По измеренным разрядным характеристикам восстанавливалась эволюция приведенного электрического поля в разрядной стадии. На ее основе при численном решении уравнения Больцмана для электронов и уравнений баланса для активных частиц определялась наработка атомов, радикалов и возбужденных и заряженных частиц в разряде и его послесвечении. Полученные результаты служили входными данными при моделировании воспламенения под действием разрядной плазмы, в процессе которого численно решались уравнения баланса для различных химических компонентов смеси и температуры газа. Результаты расчета времени задержки как автовоспламенения, так и воспламенения с помощью разряда, согласуются с экспериментальными данными. Анализ расчетных данных позволил определить основные механизмы ингибирования воспламенения при добавлении малых концентраций С2Н4. Эффект ингибирования связан в значительно степени с переводом атомов, активно участвующих в цепном механизме воспламенения, в менее активные соединения.

Работа была поддержана грантом РФФИ №14-03-31449.

Литература

1. Азатян В.В., Борисов А.А., Мержанов А.Г., Калачев В.И., Масалова В.В., Маилков А.Е., Трошин К.Я., *Физика горения и взрыва* **41** 3.
2. Kosarev I.N., Aleksandrov N.L., Kindysheva S.V., Starikovskaia S.M., Starikovskii A.Yu., Combust. Flame, 2008, 154, 569.Starikovskaia, S M *J. Phys.D: Appl. Phys*. **39** 265-99