Развитие наносекундного разряда при исследовании стимулированного плазмой воспламенения на ударной трубе

Косарев И.Н., Киндышева С.В., Григоренко В.Д., Стариковский А.Ю.1, Александров Н.Л.

Московский физико-технический институт, ilyakosarev@gmail.com
1Принстонский университет, astariko@princeton.edu

Воспламенение горючих смесей под действием неравновесной разрядной плазмы в последнее десятилетие привлекает большое внимание исследователей в связи с многочисленными возможными применениями [1-3]. Экспериментально показано, что с помощью разрядной плазмы можно существенно снизить время задержки и температуру воспламенения, стабилизировать пламена и расширить область горения для различных видов топлива. Для исследования механизмов стимулированного плазмой воспламенения и окисления углеводородов выполнены многочисленные эксперименты, в том числе – на ударной трубе с разрядной секцией [1-3]. В этих условиях за фронтом ударной волны зажигался наносекундный высоковольтный разряд, приводящий к наработке химически активных частиц. Важно, что при не слишком высоких давлениях разряд и воспламенение развивались однородно. Это позволило не только производить диагностику разрядных характеристик и измерять время задержки воспламенения, но и моделировать стимулированное плазмой воспламенение в рамках нульмерных моделей с достаточно сложной кинетикой процессов в разрядной стадии и стадии воспламенения. При этом на одной и той же установке можно было исследовать как воспламенение под действием разрядной плазмы, так и автовоспламенение без разряда в газе, нагреваемом ударной волной. К сожалению, этот подход не позволяет проводить исследования при достаточно высоких давлениях газа, поскольку в этом случае разряд развивается в виде стримерной вспышки, приводящей к резко неоднородному в пространстве энерговкладу, что существенно снижает эффективность воздействия плазмы на воспламенение и затрудняет моделирование процессов.

Прежние исследования стимулированного плазмой воспламенения на ударной трубе выполнены за фронтом отраженной ударной волны, где достигаются наибольшие давления газовой смеси. В настоящей работе сделана попытка провести исследования воздействия плазмы на воспламенение в условиях, когда разряд развивается перед падающей волной или за падающей волной, но перед отраженной. При этом разряд инициировался в более разреженном газе, и были основания полагать, что воспламенение за отраженной ударной волной, где достигаются необходимые для этого температуры, будет осуществлено однородным образом при давлениях, не достижимых в случае инициирования разряда за отраженной волной. В работе для исследования разряда использовалась ССД камера с усилителем La Vision Picostar, а также емкостные и магнитные датчики для измерения электрического поля в разряде, разрядного тока и энерговклада. Исследования проводились в стехиометрической смеси диметилэфира с кислородом (3% горючей смеси), разбавленных смесью аргона с гелием (97%).

Исследования показали перспективность такого подхода, когда разряд зажигается перед фронтом ударной волны, а воспламенения осуществляется при заметно больших давлениях уже за фронтом отраженной волны.

Работа частично поддержана грантом РНФ № 17-12-01051.

Литература.

1. Starikovskaia S. M., J. Phys.D: Appl. Phys. 39(2006) R265.
2. Starikovskiy A., Aleksandrov N., Progr. Energy Comb. Sci. 39(2013) 61.
3. Ju Y., Sun W., Progr. Energy Comb. Sci. 48(2015) 21.