

БЫСТРЫЙ ПЕРЕХОД ГОРЕНИЯ В ДЕТОНАЦИЮ: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

С. М. Фролов

Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова РАН,
Москва, Россия

Приведен обзор теоретических и экспериментальных исследований «быстрого» перехода горения в детонацию (ПГД) в газах и капельных газозвесах.

В наших недавних работах предложен новый способ получения детонации в прямой гладкой трубе. Суть способа заключается в принудительном ускорении относительно слабой ударной волны (УВ), бегущей перед фронтом пламени, до интенсивности, достаточной для возникновения детонационного взрыва. Для этой цели вдоль прямой гладкой трубы устанавливались распределенные источники зажигания. В опытах УВ ускоряли, включая каждый последующий источник зажигания согласованно с ее приходом в соответствующее сечение трубы. Другими словами, УВ ускоряли, обеспечивая быстрое принудительное зажигание взрывчатой смеси в ближайшей окрестности бегущего ударного фронта. Такой прием позволил инициировать детонацию на расстоянии и за время, значительно меньшие по сравнению с классическим ПГД, т. е., обеспечить «быстрый» ПГД. Под «быстрым» ПГД понимается процесс возникновения детонации в топливно-воздушной смеси, при котором турбулентное пламя разгоняется до скорости, значительно меньшей, чем скорость, требуемая для классического ПГД в прямой трубе. Новый способ инициирования детонации назван нами «иницированием детонации бегущим импульсом принудительного зажигания». Отметим, что в опытах с инициированием детонации рассогласование между приходом УВ и зажиганием газа не превышало 100 мкс. При большем рассогласовании момента зажигания с приходом УВ при прочих равных условиях детонация не возникала.

Возможность локального самовоспламенения свежей смеси при отражении УВ от препятствия навела нас на мысль, что при ПГД в трубах с препятствиями принципиально возможен не только классический сценарий, но и сценарий инициирования детонации бегущим импульсом зажигания, но не принудительного, а самопроизвольного. В этом случае зажигание газа в окрестности УВ, бегущей перед фронтом пламени, происходит не за счет внешнего стимулирования химической активности, а благодаря самовоспламенению ударно сжатого вещества при отражении УВ от препятствий. Другими словами, при ПГД в трубах с препятствиями имеется стадия процесса, на которой принципиально возможно быстрое инициирование детонации бегущим импульсом самопроизвольного зажигания («быстрый» ПГД). При этом, как и в опытах с принудительным зажиганием, возможность «быстрого» ПГД определяется тем, насколько согласованы друг с другом момент прихода УВ в то или

иное сечение трубы с моментом самовоспламенения газа в этом сечении.

В связи с принципиальной возможностью «быстрого» ПГД возникают фундаментальные вопросы относительно условий его реализации, а также средств и методов его предотвращения. В данном обзоре приведены экспериментальные и расчетные примеры реализации «быстрого» ПГД в условиях, когда в потоке за бегущей УВ спонтанно возникают распределенные очаги самовоспламенения.

FAST DEFLAGRATION-TO-DETONATION TRANSITION: THEORY AND EXPERIMENT

S. M. Frolov

The review of theoretical and experimental studies of «fast» deflagration-to-detonation transition (DDT) in gases and liquid drop suspensions is presented.

In our recent works, a new method for obtaining detonation in a straight smooth tube was suggested. Its essence is the forced acceleration of a comparatively weak shock wave running ahead of the flame front to intensities sufficient for the formation of a detonation explosion. For this purpose, distributed igniters were mounted along a straight smooth tube. The shock wave was accelerated by switching on each ignition source as the wave arrived at the corresponding tube section. In other words, the shock wave was accelerated by providing fast forced explosive mixture ignition in the nearest vicinity of the running shock front. This technique allowed detonation to be initiated at a distance and in a time much smaller compared with the classic DDT. In experiments with detonation initiation, the mismatch between the arrival of the shock wave and gas ignition did not exceed 100 microsecond. At a larger mismatch, the other conditions being equal, no detonation occurred. It follows that the length and time of the DDT can be reduced substantially by providing the possibility of forced shock wave acceleration before the flame front; that is, we can then obtain a «fast» DDT. Further, the fast DDT will be understood as the appearance of detonation in a fuel-air mixture when a turbulent flame is accelerated to a velocity much lower than the velocity required for the classic DDT in a straight tube. The new technique for initiating detonation we called «detonation initiation by a running forced ignition pulse.»

The possibility of the local self-ignition of a fresh mixture caused by shock wave reflection from an obstacle brought us to an idea that, in DDT in tubes with obstacles, not only the classic DDT scenario, but also the scenario of detonation initiation by a running ignition pulse, however spontaneous rather than forced, is possible. Gas ignition in the vicinity of the shock wave running in front of the flame then occurs because of the self-ignition of the substance compressed by the shock wave reflected from obstacles rather than because of external stimulation of chemical activity. In other words,