

ЛАЗЕРНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

© 2006 Н.И. Лаптев¹, В.И. Мордасов², В.В. Пойлов¹, Г.А. Галимова¹, М.Р. Хайрутдинов¹

¹ - Научно-исследовательский институт проблем конверсии и высоких технологий, г. Самара

² – Самарский государственный аэрокосмический университет

Авторами разработан стенд для экспериментального исследования инициирования лазерным излучением быстропротекающих процессов: горения, взрывного горения, перехода горения в детонацию и непосредственно детонации в конденсированных средах. Разработанный стенд позволяет в реальном масштабе времени с требуемым временным разрешением исследовать движение передней поверхности образца при воздействии на него лазерного излучения и разлет продуктов разрушения. Установлено, что увеличение длины волны лазерного излучения приводит к росту пороговой величины энергии, необходимой для инициирования взрывного разрушения в данной системе.

Исследование быстропротекающих физико-химических процессов продолжительностью порядка 10^{-6} с требует применения особых методов и приборов, позволяющих получать картину протекания процесса и измерить его скорость за малые промежутки времени. В настоящее время нашли применение два типа приборов для визуализации процессов горения и взрыва: фоторегистрирующие приборы и оптические пирометры. Среди фоторегистрирующих устройств широкое распространение получили ждущий фоторегистратор ЖФР, сверхскоростной фоторегистратор СФР, высокоскоростная камера ВСК. Первый из них работает в режиме фоторегистратора, позволяя получить развертку перемещения светящегося фронта во времени.

Принцип фоторегистрации быстропротекающей химической реакции состоит в фотографировании свечения, перемещающегося по веществу по мере распространения реакции от слоя к слою; фоторегистрация волн сжатия основана на изменении показателя преломления прозрачных веществ при взаимодействии с ними уплотнения. Сущность метода заключается в следующем. Изучаемый объект проецируется на зеркало, ось вращения которого находится в центре окружности с расположенной на ней фотографической пленкой.

Оптические зонды с волоконными световодами находят применение для определения времени прихода фронтов ударных и детонационных волн в субмикросекундном диапазоне. Самым простым зондом для этих целей является жгут оптических воло-

кон, вставленный в отверстие непрозрачной стенки и залитый эпоксидным компаундом. При постановке более сложных экспериментов необходимо иметь волоконные зонды, у которых закреплены лишь концы оптических волокон, что позволяет выполнить их гибкими. С помощью таких зондов не составляет трудности передать световые сигналы из любых точек замкнутого объема, развернув последовательность выделенных точек в одну линию. В этом случае с помощью скоростного фоторегистратора фиксируется момент прохождения ударной или детонационной волны.

На основании анализа рассмотренных схем приборов была разработана схема стенда для исследования лазерного инициирования высокоэнергетических веществ. В основу данной методики положен принцип фоторегистрации исследуемых процессов. Разработано устройство временной синхронизации начала воздействия лазерного излучения и регистрации процесса воспламенения.

Данный стенд позволяет с временным разрешением синхронно изучать движение передней (облучаемой) поверхности образца, взрывного разложения и детонационного фронта, свечение разлетающихся продуктов взрыва. Стенд позволяет проводить эксперименты в атмосфере воздуха и в защитной среде с помощью специально разработанных для этих целей экспериментальных ячеек. С использованием телеканалов совместно с ПЭВМ предусмотрена возможность разделения в пространстве и времени регистрации

процессов, протекающих в зоне облучения лазерным пучком и протекающих за пределами этой зоны. Имеется возможность вариации плотности мощности лазерного воздействия изменением положения исследуемого образца от допороговых до многократно превышающих критические величины взрывного разложения сред различных классов.

На оптической скамье установлены системы измерения плотности мощности падающего потока на испытуемый образец, слияния пучков излучения от нескольких генерирующих источников, выделения оптимального спектра длин волн излучения, измерения длительности временной задержки, изучения движения передней поверхности и детонационного фронта образца.

В информационно-измерительной системе применяются газовые непрерывные лазеры, которые имеют метрологические преимущества перед другими типами благодаря малой угловой расходимости излучения, широкому диапазону генерируемых длин волн, легко реализуемому одномодовому и частотному режиму генерации.

Было проведено исследование воздействия лазерного излучения с длиной волны 1,05 мкм на характер воспламенения высокоэнергетических веществ. При этом плотность мощности излучения изменялась в диапазоне от 5 до 40 Вт/см². Изображение фронта горения регистрировалось при длительностях выдержки от 0,002 до 0,008 с. Полученные изображения позволяют определить величину пороговой плотности мощности, при которой осуществляется переход к объемному возгоранию.

Схема оптической системы для исследования динамики взрывных процессов и определения времени задержки инициирования высокоэнергетических веществ работает следующим образом. Излучение от гелий-неонового лазера проходит через светофильтр и дифракционную решетку и, отражаясь от поворотного зеркала, попадает в камеру, где с помощью держателя размещен исследуемый образец. После прохождения зоны воздействия излучение направляется с помощью зеркала на экран. Телекамера WAT-231 S, сопряженная с ПЭВМ, регистрирует текущее распределе-

ние световой энергии и движение осколков, образовавшихся в результате взрыва. Зарегистрированное изображение наблюдается на экране монитора ПЭВМ. Для обработки результатов экспериментов применялась программа определения распределения освещенности для группировок объектов.

Разработанный стенд отличается простотой конструкции (отсутствуют вращающиеся оптические элементы, оптоволоконные элементы, требующие точной юстировки) и позволяет визуализировать исследуемые процессы требуемым временным разрешением.

При проведении экспериментальных исследований имеется возможность варьировать величину мощности излучения, длину волны или осуществлять суммирование сигналов от источников с различными длинами волн. Управление плотностью мощности, и, следовательно, скоростью нагрева и задержкой воспламенения, осуществляется путем регулирования диаметра пятна на поверхности исследуемого вещества. Указанные параметры контролируются в процессе экспериментов. Данный стенд позволяет определять для различных видов высокоэнергетических веществ в зависимости от их состава определять требуемую величину энерговклада, временные параметры инициирования и характер взаимодействия лазерного излучения с веществом в зависимости от условий эксперимента.

На основании анализа рассмотренных схем приборов была разработана схема стенда для исследования лазерного инициирования высокоэнергетических веществ. В основу данной методики положен принцип фоторегистрации исследуемых процессов. Разработано устройство временной синхронизации начала воздействия лазерного излучения и регистрации процесса воспламенения.

Данный стенд позволяет с временным разрешением синхронно изучать движение передней (облучаемой) поверхности образца, взрывного разложения и детонационного фронта, свечение разлетающихся продуктов взрыва. Стенд аналогично разработкам [27, 28] позволяет проводить эксперименты в атмосфере воздуха и в защитной среде с помощью специально разработанных для этих

целей экспериментальных ячеек. С использованием телеканалов совместно с ПЭВМ предусмотрена возможность разделения в пространстве и времени регистрации процессов, протекающих в зоне облучения лазерным пучком и протекающих за пределами этой зоны. Имеется возможность вариации плотности мощности лазерного воздействия изменением положения исследуемого образца от допороговых до многократно превышающих критические величины взрывного разложения сред различных классов.

На оптической скамье установлены системы измерения плотности мощности падающего потока на испытуемый образец, слияния пучков излучения от нескольких генерирующих источников, выделения оптимального спектра длин волн излучения, измерения длительности временной задержки, изучения движения передней поверхности и детонационного фронта образца.

Схема оптической системы для исследования динамики взрывных процессов и определения времени задержки иницирования ВВ приведена на рис.1. Излучение 4 от гелий-неонового лазера 1 проходит через светофильтр 2 и дифракционную решетку 3 и, отражаясь от поворотного зеркала 5, попадает в камеру, где с помощью держателя 7 размещен исследуемый образец. После прохождения зоны воздействия излучение направляется с помощью зеркала 10 на экран 6. Телекамера WAT-231 S (11), сопряженная с ПЭВМ 12, регистрирует текущее распределение световой энергии и движение осколков, образовавшихся в результате взрыва. Зарегистрированное изображение наблюдается на экране монитора ПЭВМ. Для обработки результатов экспериментов применялась программа определения распределения освещенности для группировок объектов.

Разработанный стенд отличается простотой конструкции (отсутствуют вращающиеся оптические элементы, оптоволоконные элементы, требующие точной юстировки) и позволяет визуализировать исследуемые процессы требуемым временным разрешением.

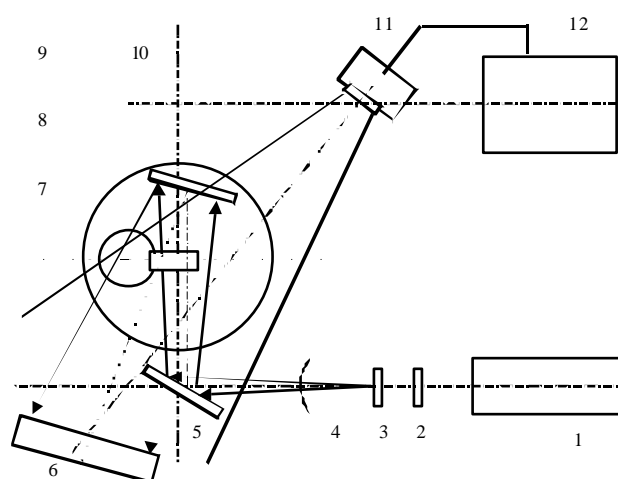


Рис.1. Схема оптической системы с телеканалом для определения времени задержки иницирования ВВ:

1 – 1 – лазерный излучатель, 2 – светофильтр, 3 – дифракционная решетка, 4 – зондирующий пучок излучения, 5 – поворотное зеркало, 6 – экран, 7 – держатель, 8 – детонатор, 9 – защитная камера, 10 – поворотное зеркало, 11 – телекамера, 12 – ПЭВМ

При проведении экспериментальных исследований имеется возможность варьировать величину мощности излучения, длину волны или осуществлять суммирование сигналов от источников с различными длинами волн. Управление плотностью мощности, и, следовательно, скоростью нагрева и задержкой воспламенения, осуществляется путем регулирования диаметра пятна на поверхности исследуемого вещества. Указанные параметры контролируются в процессе экспериментов. Данный стенд позволяет определять для различных видов высокоэнергетических веществ в зависимости от их состава требуемую величину энерговклада, временные параметры иницирования и характер взаимодействия лазерного излучения с веществом в зависимости от условий эксперимента.

В процессе создания стенда для экспериментального исследования процессов взаимодействия лазерного излучения с высокоэнергетическими веществами была проведена оценка погрешности определения основных параметров процесса. При этом рассматривались следующие параметры: мощность источника излучения, диаметр пятна излучения на поверхности, точность

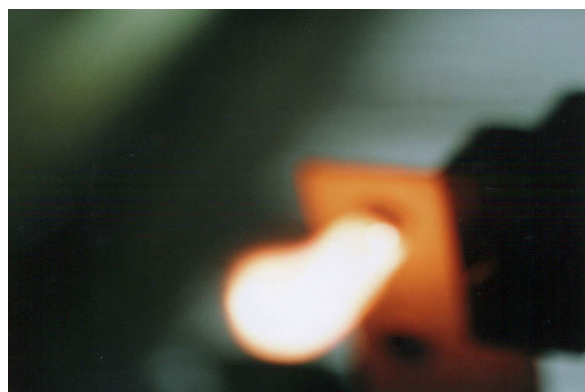
позиционирования элементов измерительной системы, синхронизация и временная привязка канала регистрации к моменту воздействия лазерного излучения на вещество, чувствительность фотоприемного устройства.

Размер и положение лазерного пучка на поверхности вещества определяется положением фокусирующей линзы. Диаметр лазерного пучка на поверхности оценивался методом диафрагм и по отверстию, образованному на поверхности. Позиционирование фокусирующей линзы осуществлялось с точностью до 0,5 мм. Диаметр пятна и его положение на поверхности оценивались с точностью 0,1 мм. Синхронизация и временная привязка канала регистрации к моменту лазерного воздействия осуществлялась аналогично разработкам [1,2] при моделировании процесса взрыва и определении положения объекта на фотоприемном устройстве. Общее временное разрешение каналов было не хуже 10 нс. Чувствительность измерительного тракта к перемещению составляла не менее 0,1 мм.

Минимальный регистрируемый уровень освещенности определялся чувствительностью фотопленки. Коэффициент уменьшения оптической системы определялся при фотографировании объекта известных размеров. Временное разрешение системы при регистрации процессов воспламенения составляло 5 нс. Мощность излучения источника контролировалась в процессе исследований с помощью измерителя мощности ИМО-2Н с точностью 5 мВт.

На рис. 2 приводится изображение брикета при воспламенении потоком лазерного излучения. При исследовании процессов воздействия потока лазерного излучения на воспламеняющее вещество удельная плотность мощности изменялась в диапазоне от 5 до 40 Вт/мм², а длительность выдержки от 0,002 до 0,008 с. Фокусное расстояние системы составляло 200 мм, диаметр светового пучка - 4 мм.

На рис. 2,а видно, что энерговыклад с параметрами возгорания $q = 15 \text{ Вт/мм}^2$, $\tau = 4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ приводит к объемному возгоранию воспламеняющего вещества близкому по характеру к взрывному горению. При менее интенсивном нагреве (рис. 2, б) наблюдается



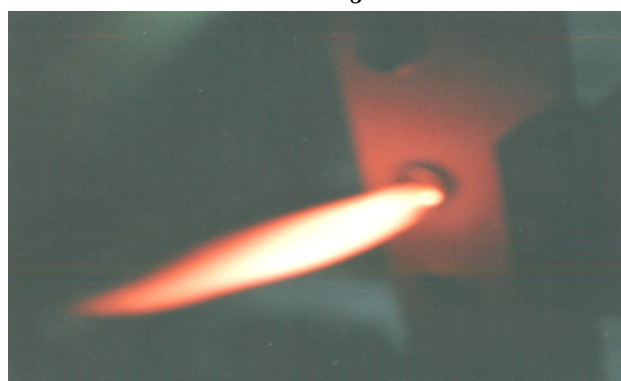
а



б



в



г

Рис.2. Изображение брикета (бертолетова соль + 5% связующего на основе нитроцеллюлозного лака) при воспламенении потоком лазерного излучения:

- а - $q=15 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/мм}^2$; $\tau=4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$;
- б - $q=10 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/мм}^2$; $\tau=8 \cdot 10^{-3} \text{ с}$;
- в - $q=40 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/мм}^2$; $\tau=2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$;
- г - $q=20 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/мм}^2$; $\tau=2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$

горение вещества с вытянутым факелом пламени вдоль ионизирующего канала. Подобные закономерности воспламенения брикета из бертолетовой соли возникает и в случае увеличения удельной плотности мощности (рис. 2,в,г). Здесь требуются меньшие величины энергии лазерного излучения длиной волны 1,05 мкм при иницировании воспламенения брикетов из бертолетовой соли. Данные зависимости позволяют сделать вывод, что с уменьшением плотности излучения и возрастанием продолжительности нагрева, возгорание происходит с вытянутым факелом вдоль ионизирующего канала.

Здесь следует сделать вывод, что взрывное горение возможно лишь при попадании лазерного потока с высокой плотностью излучения $q_0 > 20 \cdot 10^6$ Вт/м² на

поверхность высокоэнергетического вещества.

Список литературы

1. Ципилев В.В. Стенд для исследования кинетики взрывного разложения конденсированных сред при воздействии импульсов лазерного излучения // Изв. Томского политехнического университета, 2003. Т. 306, №4.С.99-103.

2. Таржанов В.И. Предвзрывные явления при быстром иницировании бризантных взрывных веществ // Физика горения и взрыва, М., 2003. Т.39, №6. С.3-11.

THE LASER INFORMATION MEASUREMENT SYSTEM FOR INVESTIGATION OF HIGH-SPEED PROCESSES

© 2006 N.I. Laptev¹, V.I. Mordasov², V.V. Poylov¹, G.A. Galimova¹, M.R. Nayrutdinov¹

¹ –The Scientific-research institute of conversion and high technology problems, Samara

² –Samara state aerospace university

The authors have developed the installation for investigation of initiation by laser radiation such high-speed processes, as combustion, explosive combustion, change the combustion in detonation and just detonation in condensed systems. The developed installation allows to explore at the same rate with temporary resolution the motion of front surface of sample under its irradiation by laser source and the scatter of products of decomposition. It is established that the increasing of wavelenght of laser radiation increase the beam energy threshold required for explosive decomposition initiation in given systems.