Е.А.ЖУКОВ, А.П.КУЗЬМЕНКО
Хабаровский технический университет, Россия
М.А.ИЛЮШИН
Санкт-Петербургский технологический институт, Россия
Н.А.ЛЕОНЕНКО
Институт горного дела ДВО РАН, Владивосток, Россия

ЛАЗЕРНОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ СОСТАВОВ

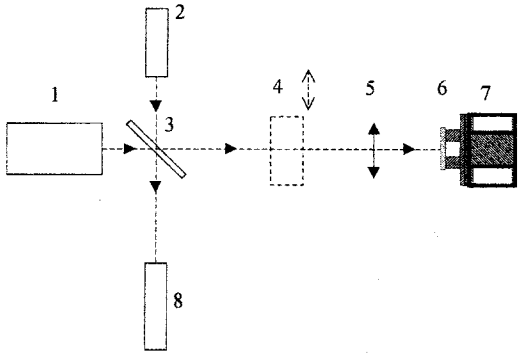
Интерес к работам, посвященным лазерному воздействию на энергонасыщенные составы (ЭС), в последнее время неуклонно возрастает [1-5], что в значительной мере предопределяется практическими потребностями создания безопасных средств инициирования взрывчатых веществ. Проведение исследований по опытному подбору оптимальных химических составов ЭС, отвечающих требованиям их дистанционного подрыва и формирования профилированных детонационных волн при лазерном инициировании с заданной последовательностью срабатывания, является вполне востребованным.

При анализе материалов для исследований из большого многообразия энергонасыщенных составов выбор был сделан в пользу светочувствительных к лазерному излучению. Применение лазерных источников с использованием оптоволоконных световодов на этапе инициирования ЭС позволяет существенно повысить безопасность таких работ, что обусловливается их чувствительностью только к световому воздействию с определенной энергией и исключает паразитное влияние электромагнитных помех.

Для экспериментальных исследований лазерного инициирования детонации гетерогенных систем была использована лазерная технологическая установка «АЛЬФА-201», применяемая для гравировки и маркировки. Функционально лазерный технологический комплекс состоит из лазерного генератора и устройства управления. В качестве источника лазерного излучения в нем используется твердотельный лазер на иттрий-алюминиевом гранате, активированном неодимом с длиной волны излучения 1064 нм. Комплекс позволяет получать генерацию монохромного когерентного электромагнитного излучения в импульсно-периодическом (с модулированной добротностью) и непрерывном режимах. Это достигается с помощью акустооптического затвора, на котором высокочастотные сигналы (50 МГц), генерирующие ультразвук, для модуляции добротности промодулированы низкочастотными сигналами, что позволяло формировать периодическую последовательность импульсов на частотах от 60 до 100 кГц. Таким образом, работа могла осуществляться в импульсно-периодическом режиме. Этот же оптический затвор мог программно формировать последовательность серии импульсов с регулируемыми длительностью и временем между ними в пределах 1-10 мс и пачки серий таких импульсов с регулируемой общей длительностью от 0,01 до 1 с. Средняя мощность излучения составляла несколько ватт. Все это позволило осуществить пространственное распределение энергии лазерного излучения на объектах с заданной задержкой по времени на каждом из них. Лазерный технологический комплекс оснащен интерфейсом для компьютерного управления параметрами его работы. Устройство управления позволяет изменять параметры работы излучателя: мощность излучения, частоту следования импульсов, длительность серии импульсов. Для непосредственного наведения излучения на объект воздействия в установке использован соосно включенный гелий-неоновый лазер с длиной волны 630 нм. Эксперименты проводились на пачках импульсов общей длительностью от 0,01 до 1 с при низкочастотной модуляции 3 кГц, длительностью серии 5 мс и задержкой 4 мс.

На рисунке представлена блок-схема оптической части испытательного стенда. Полупрозрачная пластинка 3 отводит небольшую часть пучка лазерного излучения на фотодиод 8. После предварительного усиления сигнал с фотодиода непосредственно используется для запуска двухлучевого запоминающего осциллографа С8-17, а также для контроля и измерения

длительности пачки импульсов. В режиме испытаний ЭС фотодиод 8 мог также регистрировать момент начала горения смеси, что удавалось зафиксировать на осциллографе. Излучение гелий-неонового лазера 2 совмещалось на полупрозрачной пластине 3 с инициирующим излучением и служило для настройки оптического тракта. Двухлучевой запоминающий осциллограф позволял регистрировать и сравнивать по форме и параметрам не только оптический, но и акустический сигналы, возникающие при детонации испытываемого состава. Таким образом определялось время задержки детонации.



Оптическая схема экспериментальной установки
1 – Nd^{3+}: YAG – лазер; 2 – HE-NE-лазер;
3 – полупрозрачная пластина; 4 – калориметр ИМО-2Н; 5 – линза; 6 – мишень; 7 – акустический объемный резонатор; 8 – фотодиод ФД-3

Для регистрации акустического сигнала был разработан акустический объемный резонатор 7, на который крепилась мишень 6 с испытываемыми ЭС. Конструкция мишени обеспечивает несколько операций: прессование испытываемых составов, их герметичное и безопасное закрепление, а также доступ к поверхности ЭС инициирующего лазерного излучения. Основная часть лазерного излучения фокусировалась линзой 5 с фокусным расстоянием 5 см на мишень 6. Измерение энергических параметров пачки импульсов излучения осуществлялось с помощью калориметра типа ИМО-2Н, который помещался в пучок лазерного инициирующего излучения с заданными параметрами перед началом и после проведения испытаний смеси.

Энергонасыщенные смеси закладывались в мишень, являющуюся одновременно и пресс-формой, в которой они могли прессоваться под заданным давлением. При прессовании смеси в нижней части мишени крепилась оптически полированная металлическая заглушка. Это позволяло после прессования получать плоскую поверхность смеси. Затем заглушка сменялась на тонкую прозрачную стеклянную пластинку, которая плотно прижималась к поверхности испытываемой смеси. Мишень акустически крепилась на поверхность акустического объемного резонатора, датчиком в котором служила пьезокерамика типа $BaTiO_3$. Количество ЭС можно было менять в пределах 0,2-2 г с помощью шаблонов.

Прессование ЭС до заданного давления осуществлялось с помощью ручного пресса и контролировалось динамометрами ДОСМ-3-0,2 и ДОСМ-3-1с пределом измерения 2 и 10 кН соответственно. При диаметре канала в мишени 9 мм в нем создавалось давление прессования до 32 и 160 МПа соответственно.

Наблюдение осциллограмм исследуемых сигналов осуществлялось в ждущем режиме. Сигналы также регистрировались видеокамерой. По полученным временным характеристикам осуществлялся отбор исследуемых составов на соответствие заданным параметрам: времени задержки детонации, пороговой световой энергии. Характерное время задержки детонации, полученное для испытываемых составов, составило несколько десятков миллисекунд. При определении времени задержки детонации временем распространения звука по мишени можно было пренебречь, так как при скорости звука в металле $7 \cdot 10^3$ м/с мишень проходится звуковой волной не более чем за 7 мкс. Рассчитанное время прохождения акустического сигнала в материале испытываемой смеси 10 мкс. Таким образом, можно считать, что нами регистрировалось время задержки между оптическим инициирующим лазерным излучением и акустическим откликом в случае детонации, равное, по-видимому, времени развития детонации в исследуемых материалах.

Предварительные испытания показали, что применение прессованных ЭС с открытой поверхностью не приводит к лазерному инициированию при увеличении давления прессования до 32 МПа и толщины образцов ЭС до 10 мм. Увеличение длительности пачки импульсов до 2 с, что физически близко к непрерывному режиму, приводило только к выгоранию ЭС без детонации. При давлении 25 МПа, толщине 3,5 мм и длительности импульса 40 мс воздействие лазерного излучения на открытую поверхность приводило к образованию кратера диаметром

1 мм. Применение покрытия из оргстекла толщиной 2 мм при тех же параметрах приводило к практически полному сгоранию смеси без повреждения покрытия. Дальнейшие эксперименты проводились только с таким покрытием.

При увеличении толщины образцов до 9 мм с указанным выше давлением прессования ЭС при длительности пачки импульсов 20 мс наблюдалось образование пятна горения диаметром 1 мм. Дальнейшее увеличение длительности до 400 мс стимулировало процесс горения через 20 мс после окончания лазерного импульса и в течение 60 мс, что иллюстрирует осциллограмма светового импульса пламени. Дальнейшие эксперименты показали, что при различном давлении прессования и толщине ЭС лазерный импульс приводит только к загоранию и удалению части ЭС с продуктами сгорания через негерметичные узлы мишени. При большем давлении (до 160 МПа) и толщине 5 мм происходило разрушение стеклянного покрытия и основная масса выносилось через образовавшееся отверстие. Применение для уплотнения фторопласта в соединительных узлах мишени привело к возникновению детонации при давлениях прессования, больших 25 МПа, и толщине образца 5 мм с меньшим энергетическим порогом лазерного излучения. На образцах ЭС толщиной 5 мм с давлением прессования 100 МПа и длительностью импульса 30 мс через 200 мс после окончания лазерного импульса был зарегистрирован световой импульс, свидетельствующий о начале реакции горения смеси. Через 50 мс был зарегистрирован акустический сигнал. Процесс сопровождался характерным хлопком.

Экспериментально установлен нижний порог по давлению прессования, равный 30 МПа, при толщине образца 5 мм и фокусировке излучения на глубине в пределах 1 мм под поверхностью образца. Задержка начала горения уменьшилась до 170 мс. Задержка детонации не изменялась с ростом давления прессования, толщины образцов и глубины фокусировки лазерного излучения. Это косвенно подтверждает вывод о детонационной природе возникающего акустического сигнала.

В ходе проведенных нами исследований показано, что эффективность использования горючего в ЭС при лазерном инициировании возрастает в следующей последовательности: уротропин – 5-аминотетразол – тетразол – аминогуанидиннитрат. По нашим данным и данным других авторов [1-4], составы с тетразолом активно загораются при лазерном облучении, но не взрываются. Использование связующих наполнителей (нитролаков) снижает восприимчивость к лазерному воздействию. Установлено, что плотность прессования испытываемых составов повышает эффективность лазерного воздействия. Интенсивность горения на стадии развития детонации и сокращения участка перехода горения в детонацию достигается за счет равномерного распределения окислительных и легко окисляющихся группировок, как правило, существующих в органических горючих соединениях. На этой основе в качестве горючего компонента в ЭС для исследований был выбран аминогуанидин нитрат (АГН): $H_2NC(=NH)NHNH_2HNO_3$.

Таким образом по результатам проведенных исследований процессов лазерного инициирования ЭС на основе АГН определены нижние пороговые значения давления прессования для исследованного гетерогенного органического соединения (25-30 МПа), толщины образца (5 мм), глубины фокусировки (1 мм под поверхностью образца). Экспериментально доказано, что ЭС на основе АГН имеет постоянное «время активации», что и определяет время задержки детонации (около 50 мс). Величина времени формирования детонации на испытываемом ЭС свидетельствует в пользу его возможного применения в промежуточных детонаторах для приведения в действие зарядов при буровзрывных работах с лазерным инициированием.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александров Е.И., Вознюк А.Г.* // Физика горения и взрыва. 1993. Т.29. № 2.
2. *Ассовский И.Г.* // Химическая физика. 1992. Т.324. № 1.
3. *Ассовский И.Г.* // ДАН. Химия. 1994. Т.337. № 6.
4. *Карлов Н.В.* Лазерная термохимия / Н.В.Карлов, Н.А.Кириченко, Б.С.Лукьянчук. М.: ЦентрКом, 1994.
5. *Таржанов В.И., Литвинов Б.В., Зинченко А.Д., Козерук Н.П., Сдобнов В.И.* // Изв. вузов. Горный журнал. 1999. № 4.