

УДК 533.9

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЭРОЗИОННОГО ФАКЕЛА ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА НА МАТЕРИАЛЫ, СОДЕРЖАЩИЕ НАНОДИСПЕРСНЫЙ УГЛЕРОД

В.В. Медведев

Томский политехнический университет
E-mail: medvedev@tpu.ru

Экспериментально исследована электропроводность эрозионного факела на расстоянии 5 мм от торцевой поверхности двухосновного топлива и оксида магния с разным содержанием нанодисперсного углерода (ламповая сажа). Воздействие осуществлялось лазерным излучением с длительностью импульса 0,5 мс, длиной волны 1,06 мкм и плотностью энергии до 20 Дж/см². Эксперименты проведены на воздухе при нормальных условиях. При введении ламповой сажи в образцы наблюдалась четкая корреляция между электропроводностью эрозионного факела и содержанием углеродных частиц в мишени. Дана интерпретация экспериментально наблюдаемым явлениям.

Ключевые слова:

Электропроводность, лазерное излучение.

Key words:

Electrical conductivity, laser radiation.

Известно, что при горении факел пламени обладает электропроводностью [1]. В работе [2] предположено, что твердые частицы углерода в продуктах разложения, увеличивают их проводящую способность.

Целью данной работы было выяснить, чем обусловлена электропроводность эрозионного факела при воздействии мощного лазерного импульса на двухосновное топливо.

Эксперименты проводились на воздухе при нормальных условиях. Использовалось излучение неодимового лазера ($\lambda=1,06$ мкм), генерирующего квазинепрерывный (глубина модуляции не более 30 %) лазерный импульс длительностью 0,5 мс и плотностью энергии до 20 Дж/см². Облучалась вся торцевая поверхность по нормали, неравномерность засветки не более 20 %. В работах [3, 4] приведена более подробная информация об исследуемом составе, методикам определения неравномерности лазерного излучения (ЛИ) по сечению пучка, коэффициента отражения и показателя поглощения. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

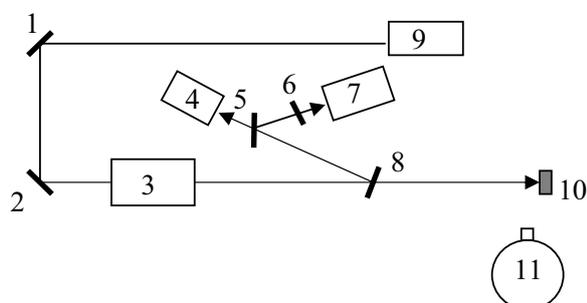


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1, 2) поворотные зеркала; 3) импульсный лазер; 4) калориметр ИКТ-1Н; 5, 8) светоделительная пластина; 6) нейтральный светофильтр НС-3; 7) фотоприемник ФЭК-09К; 9) юстировочный лазер ЛГИ-109; 10) образец; 11) кинокамера

Исследования проведены на модельном нитроглицериновом составе типа пороха «Н», в который по технологии изготовления были введены ламповая сажа 0,1 мас. % (диаметр частиц в диапазоне от 10 до 100 нм). Использовались образцы плотностью $\rho=1,34$ г/см³ в виде таблеток диаметром 8 мм и толщиной 4 мм, приготовленные следующим образом. Со штатных шашек на токарном станке снималась тонкая стружка, которая размалывалась в порошок. Полученный порошок просеивался через сито размером ячеек 75×75 мкм и засыпался в мерный стаканчик из полиметилметакрилата. Мерка засыпалась в пресс-форму и запрессовывалась на ручном прессе типа КЗФ до требуемой плотности. На длине волны $\lambda=1,06$ мкм показатель поглощения образцов был равен ≈ 360 см⁻¹; коэффициент диффузного отражения ≈ 8 %.

Удельная электропроводность измерялась по методу измерения сопротивления межэлектродного промежутка. На расстоянии 5 мм от поверхности образца помещались радиально два медных электрода диаметром 1,5 мм. Соединительные провода экранировались медной оплеткой. Межэлектродный промежуток составлял 5 мм. Сигнал регистрировался с шунтирующего сопротивления, которое подбиралось близким по значению к сопротивлению межэлектродного промежутка во время воздействия лазерного излучения на мишень. Предварительно были оценены электрические наводки от процессов в эрозионном факеле, для этого отключались электропитание ($U=12$ В) и шунтирующее сопротивление. При максимальных энергиях накачки сигнал помехи не превышал 0,2 В.

Эксперименты показали, что с увеличением плотности мощности I лазерного излучения удельная электропроводность σ эрозионного факела растет нелинейно, рис. 2. Для подтверждения того, что электропроводность факела связана с содержанием углеродных частиц в мишени, были дополни-

тельно испытаны пресованные образцы химически неактивного материала (оксид магния) с различным содержанием сажи.

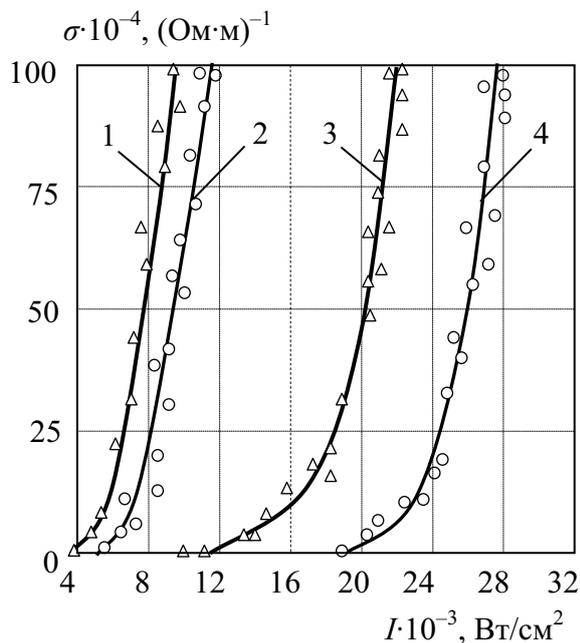


Рис. 2. Зависимость удельной электропроводности σ эрозионного факела от плотности мощности лазерного излучения. Обозначения: 1) порох + 1 % С; 2) MgO + 2 % С; 3) порох; 4) MgO + 0,1 % С

С увеличением процентного содержания сажи в мишени σ фиксируется при меньших интенсивностях лазерного излучения и растет угол наклона начальных участков кривых $\sigma(I)$. Из рис. 2 видна четкая корреляция между электропроводностью эрозионного факела и содержанием сажи в мишени. С ростом $\sigma > 50 \cdot 10^4$ (Ом·м)⁻¹ кино съемка фиксирует в эрозионном факеле яркосветящуюся область, совпадающую с зоной прохождения лазерного пучка. Яркосветящаяся область обусловлена наличием в эрозионном факеле углеродных частиц и их нагревом в поле лазерного излучения. Например, при простреле ЛИ пламени свечи, в котором содержатся

такие частицы, яркосветящаяся область также фиксировалась визуально. При воздействии ЛИ в исследуемом диапазоне плотностей энергии на пламя спиртовки, в котором углеродные частицы почти не присутствуют, яркосветящаяся область не наблюдалась. Чтобы показать, что яркосветящаяся область не являлась кумулятивной струей, ЛИ фокусировалось короткофокусной линзой на некотором расстоянии от торца таблетки. В этом случае эта область опять почти полностью повторяла геометрию лазерного пучка (рис. 3).

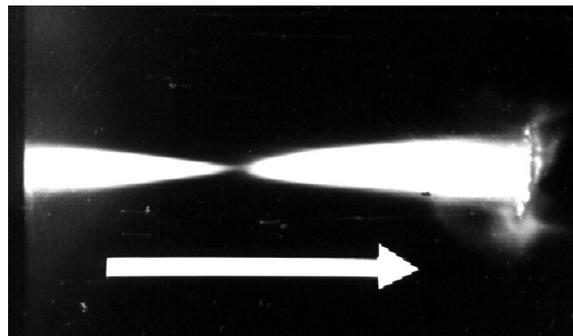


Рис. 3. Фотография эрозионного факела (мишень – порох) через светофильтр СЗС-11. Стрелка показывает направление лазерного пучка

Более подробная информация о яркостной температуре и зонах реагирования в газовой фазе приведена в работах [5, 6].

Эрозионный факел демонстрирует достаточно высокую электрическую проводимость. Эти свойства эрозионного факела можно использовать на практике, например, для коммутации высоковольтных разрядников.

Вывод

Показано, что электропроводность эрозионного факела при воздействии лазерного излучения на мишень, содержащую нанодисперсный углерод, обусловлена термостимулированной сублимацией углеродных частиц, их нагревом в лазерном пучке и термоэмиссией заряженных частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаутон Дж., Вайнберг Ф. Электрические аспекты горения. – М.: Энергия, 1976. – 294 с.
2. Дремин А.Н., Колдунов С.А., Шведов К.К. Об электропроводности ВВ при инициировании детонации ударными волнами // Физика горения и взрыва. – 1972. – Т. 8. – № 1. – С. 150–152.
3. Медведев В.В. Влияние интенсивности лазерного излучения на пороги зажигания пористого двухосновного топлива // Химическая физика. – 2004. – Т. 23. – № 3. – С. 73–78.
4. Медведев В.В. Лазер с регулируемой длительностью импульса на базе о.к.г. ГОС301 // Приборы и техника эксперимента. – 2000. – № 6. – С. 89–91.
5. Медведев В.В. О яркостной температуре эрозионного факела при действии лазерного импульса миллисекундной длительности на баллистичный порох // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 1. – С. 77–79.
6. Медведев В.В. О зонах реагирования в газовой фазе при действии мощного импульсного лазерного излучения на двухосновной порох // Химическая физика. – 2005. – Т. 24. – № 4. – С. 58–60.

Поступила 15.06.2011 г.