

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ФАКЕЛОВ МЕТАЛЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРЫ

В. К. Гончаров, К. В. Козадаев

Институт прикладных физических проблем
им. А. Н. Севченко БГУ, Минск
E-mail: kozadaeff@mail.ru

Вследствие интенсивного наносекундного лазерного воздействия формируется макрослой металла (его толщина определяется глубиной проникновения излучения), обладающий значительной избыточной энергией. Это приводит к тому, что с небольшой задержкой относительно начала лазерного воздействия (30-40 нс для 100-а нс импульса [1] и 5-10 нс для 20-ти нс импульса [2]) в приповерхностной области мишени появляется интенсивно светящееся паро-плазменное образование, которое стремительно расширяется в направлении внешней среды, взаимодействуя с действующим лазерным импульсом.

Экспериментальные исследования газодинамических процессов, имеющих место при лазерной эрозии металлов наносекундными импульсами в присутствии разреженных газов [3] и при атмосферном давлении [1, 2, 4] показывают качественное отличие в протекании процессов формирования и свечения паро-плазменного образования и его взаимодействия с падающим излучением по сравнению со случаем вакуума [5]. В работах [1, 2] экспериментально показано, что динамика интегрального свечения факела при воздействии лазерных импульсов длительности 20 и 100 нс с плотностью мощности 10^8 Вт/см² на металлы (Zn, Pb, Ni, Cu, Ag, Au) практически полностью воспроизводит временную форму импульса с небольшой задержкой (~ 50-60% длительности импульса).

Это говорит об отсутствии значимого взаимодействия эрозионного факела с падающим излучением, что дополнительно подтверждают данные о зондировании факела вспомогательным излучением на высотах 1 и 2 мм от поверхности мишени: паро-плазменное образование остается практически прозрачным для зондирующего излучения на протяжении всего времени своего существования. При повышении плотности мощности воздействующих наносекундных импульсов до 10^9 Вт/см² наблюдается резкий рост интенсивности свечения, а также существенное затягивание его заднего фронта [1, 2, 4].

Эти факты свидетельствуют о том, что существенное взаимодействие эрозионного факела металлов с задним фронтом наносекундных импульсов (поглощение энергии излучения) начинается при приближении их интенсивности к 10^9 Вт/см² (тут необходимо отметить, что для конкрет-

ного типа металла эта граница может незначительно отличаться, что обусловлено различием их теплофизических характеристик), причем начало заметного поглощения излучения плазмой факела происходит гораздо раньше, чем предсказывает тепловая модель разрушения: уже через 40–50 нс от начала воздействия для 100-а нс импульсов и 10 нс для 20-ти нс импульсов вместо расчетных 100 нс [1, 2]. Исследования [4] показали, что максимум высвечивания эрозионных факелов для 20-ти наносекундных импульсов (интенсивность 10^9 Вт/см²) локализован на высоте <1 мм от поверхности мишени, тогда как для 100-а наносекундных импульсов аналогичной интенсивности – на высоте 1–2 мм (что объясняется возрастающей плотностью энергии излучения).

Данные о зондировании эрозионных факелов на высотах 1 и 2 мм от поверхности металлических мишеней позволили оценить скорость их распространения в данном промежутке, что составило 4–15 км/с для 20-ти нс импульсов [1] и 7–20 км/с для 100-та нс импульсов [2] (интенсивность 10^9 Вт/см²) в зависимости от типа металла. Отсутствие значимого влияния крутизны переднего фронта импульса на скорость плазменного образования говорит о том, что эти значения скорости являются предельными для этого режима воздействия, а начальная динамика факела определяется лишь детонацией макрослоя. Исследования спектрально-временной структуры эрозионных факелов металлов (Zn, Pb, Ni) для 20-ти нс импульсов (интенсивность 10^8 – 10^9 Вт/см²) показали [4], что процесс высвечивания эрозионных факелов можно разделить на два этапа: формирование сплошного спектра свечения с небольшой (50% длительности импульса) задержкой относительно начала воздействия и более медленное (с задержкой ~700 нс) проявление характеристических линий металла, при этом основная часть свечения непрерывного спектра пространственно локализована на высоте до 1 мм. Похожие эффекты наблюдаются при лазерной эрозии металлов наносекундными импульсами в разреженной атмосфере (давление ~ 10 Па) [3], правда в данном случае пространственный масштаб явлений оказывается существенно выше: например, область свечения непрерывного спектра может достигать 5–10 мм в длину.

1. Гончаров В. К., Козадаев К. В., Макаров В. В., Щегрикович Д. В. // ИФЖ. 2013. Т. 86, № 4. С. 737–743.
2. Гончаров В. К., Козадаев К. В., Щегрикович Д. В. // ИФЖ. 2011. Т. 84, № 4. С. 723–738.
3. Сухов Т. Лазерный спектральный анализ. Новосибирск: Наука, 1990. 130 с.
4. Гончаров В. К., Козадаев К. В., Щегрикович Д. В. // ЖПС. 2013. Т. 80, № 3. С. 409–416.
5. Анисимов С. И., Лукьянчук Б. С., // УФН. 2002. Т. 172, № 3. С. 301–333.