

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОВОЙ ПОЛОСТИ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МЕТАЛЛОВ В ЖИДКОСТИ

В.А.АГЕЕВ, А.Ф.БОХОНОВ, В.В.ЖУКОВСКИЙ,
А.А.ЯНКОВСКИЙ

*Институт молекулярной и атомной физики АН Б,
220072, г. Минск, пр. Скорины, 70, Беларусь*

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментальных исследований разрушения металлов в воде под действием лазерного излучения (ЛИ), выяснено влияние энергии продуктов абляции металлов на параметры газовой полости в воде.

В отличие от большинства работ, посвященных изучению светового пробоя в жидкости (Bunkin N.F. and Bunkin E.V., 1993), в настоящем докладе изучены процессы, протекающие под действием световых потоков на границе раздела твердого тела и жидкости и рассмотрено их влияние на параметры образующейся газовой полости.

Эксперименты выполнены с лазером на неодимовом стекле с энергией E_T в импульсах от 0,5 до 1,5 Дж и длительностью $\tau_m = 150 - 900$ мкс и на рубине ($E_T = 1 - 5$ Дж, $\tau_m = 500$ мкс). Исследуемые образцы помещались в прямоугольную кювету из стекла. Для регистрации давления использовался пьезоэлектрический датчик.

При фокусировке ЛИ на поверхность образца, расположенного в воде, образуется лунка, глубина h которой составляет несколько микрон (см. Таблицу), что примерно на два порядка меньше, чем в воздухе. При этом масса m продуктов эрозии линейно зависит от констант испарения. Образование лунки в металле связано с тем, что при импульсном

локальном нагреве образца теплоотвод внутрь металла значительно превышает теплоотдачу в окружающую среду. Диаметр d пятна поражения металлов в жидкости всегда несколько (примерно в 1,5 - 2 раза) больше, чем при световой эрозии в воздухе.

Таблица. Величины световой эрозии металлов в воде при плотности мощности ЛИ $1,2 \cdot 10^7$ Вт/см².

Элемент	m , мкг	d , мкм	h , мкм	$Qm \cdot 10^3$
Медь	0,9	290	1,4	8,0
Магний	1,1	325	7,8	8,1
Цинк	3,5	390	4,2	8,2
Алюминий	0,6	470	1,3	8,3
Олово	2,6	490	1,9	8,4
Свинец	7,0	570	2,4	8,2
Молибден	0,9	265	1,6	7,7
Вольфрам	1,3	250	1,4	8,1
Никель	0,9	300	1,4	7,8
Тантал	1,5	280	1,5	8,1

Установлено (Таблица), что $m[c(T_k - T_0) + H_{пл} + H_{исп}] = Qm \cong \cong const$ и составляет 0,008 Дж (c , T_k , $H_{пл}$, $H_{исп}$ - соответственно теплоемкость, температура кипения, скрытая теплота плавления и испарения металла). Следовательно, энергия продуктов эрозии в газовой полости, образующейся в зоне воздействия ЛИ на поверхность различных металлов, является практически постоянной величиной. Она определяет развитие газовой полости, поскольку является потенциальной энергией E_p , запасаемой при расширении полости до максимального размера. Можно ожидать, что этот размер в условиях эксперимента не должен

зависеть от облучаемого материала, так как максимальный радиус полости r определяется выражением (Наугольных К.А. и Рой Н.А., 1971): $r = (3 E_{\text{л}}/4\pi P_0)^{1/3}$ (где P_0 - гидростатическое давление). Отсюда, при $P_0 = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ и $E_{\text{л}} = 0,008 \text{ Дж}$ получим: $r = 0,27 \text{ см}$. Из фоторегистрограмм теневых картин, полученных с помощью скоростного фоторегистратора СФР-2М, следует, что диаметр газового пузырька в воде составляет 0,55 - 0,58 см, что удовлетворительно согласуется с расчетным значением.

Большая скорость выделения энергии в зоне воздействия ЛИ на поверхность металла сопровождается значительным локальным повышением давления и излучением ударной волны. По эпюрам давления установлена взаимосвязь между величиной давления и периодом пульсаций парогазовой полости. Эти характеристики, в свою очередь, связаны с максимальным размером газовой полости и величиной энергии, выделившейся в точке воздействия ЛИ (точке "взрыва").

Импульс давления формирует в жидкости серию волн сжатия, соответствующих как моменту начала образования газовой полости, так и последующим ее пульсациям с периодом, равным примерно 750 мкс. Первая волна сжатия характеризуется ударным нарастанием давления, а последующие импульсы имеют, как правило, более плавное нарастание давления. При прохождении волны сжатия через слой жидкости отмечается уменьшение амплитуды импульса. Период пульсаций τ газовой полости оценивался также на основании формулы (Наугольных К.А. и Рой Н.А., 1971): $\tau = 1,14 \rho^{1/2} E^{1/3} P^{-5/6}$ (ρ - плотность материала мишени, P - скачок давления на фронте ударной волны, $E = 0,008 \text{ Дж}$ - энергия, выделившаяся при взрыве) и составил 750 мкс.

На рис. приведены результаты обработки осциллограмм давления при расположении датчика на различном расстоянии от точки воздействия ЛИ на металл. Здесь же приведены величины давления, рассчитанные по приближенной формуле (Иоффе А.И. и др., 1970):

$$\frac{P}{A} = \frac{8}{25} \frac{n}{n+1} \left\{ 0,611 \left[\left(1 + 0,16 \frac{nA}{E} r_{\phi}^3 \right)^{5/8} - 1 \right] \right\}^{-1},$$

где r_{ϕ} - радиус ударной волны, $A = 3000$ атм, $n = 7$ (для воды).

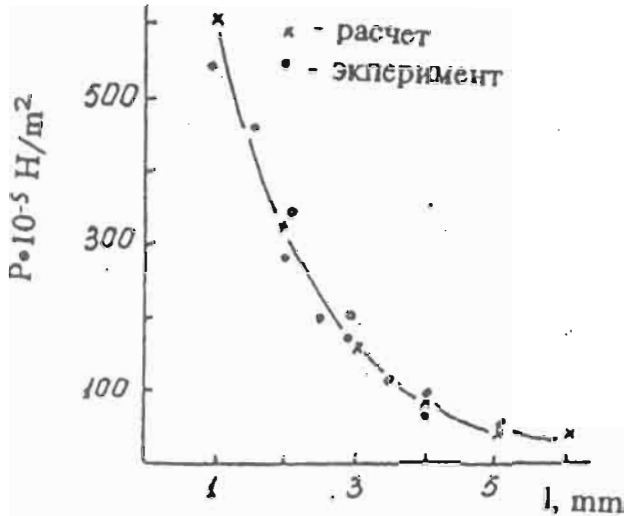


Рис. Зависимость величины давления P на фронте ударной волны от расстояния l до точки воздействия ЛИ ($1,2 \cdot 10^7$ Вт/см²) на алюминий.

Удовлетворительное соответствие экспериментальных и расчетных значений основных параметров газовой полости свидетельствует о том, что они определяются полной энергией испарения вещества, удаленного из зоны воздействия ЛИ на металлы в жидкости, а динамика кавитационной полости может рассматриваться на основе представлений физики точечного взрыва.

Литература

- Bunkin N.F. and Bunkin E.V.: 1993. *Laser Phys.* v.3, №1, P.63.
 Наугольных К.А. и Рой Н.А.: 1971. *Электрические разряды в воде.* М., 155
 Иоффе А.И., Мельников Н.А., Наугольных К.А. и Упадышев В.А.: 1970. *ПМТФ.* №3, С.125.