

О ДИНАМИКЕ ИМПУЛЬСНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ПРИ
ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

А. А. Самохин

УДК 535.211:536.4

Приводятся количественные оценки, показывающие практическую возможность экспериментального исследования импульсного плавления посредством измерения давления отдачи в облучаемом веществе.

Одной из основных причин возникновения механического импульса при лазерном воздействии на поглощающие среды является изменение плотности облучаемого вещества. Это изменение происходит при неизменном агрегатном состоянии или же сопровождается различными фазовыми превращениями (плавление, испарение, образование плазмы и др.). Помимо практических потребностей (см. напр., /1/), информация о характере протекания быстрых фазовых превращений необходима также для более глубокого понимания особенностей неравновесных процессов в метастабильных и гетерофазных системах. В настоящей работе обсуждаются возможности экспериментального исследования динамики импульсного плавления методом регистрации давления отдачи при лазерном облучении поглощающих твердых тел.

Взаимодействие лазерного излучения с поглощающими преградами исследовалось экспериментально во многих работах, однако до настоящего времени, насколько это известно автору, не было обнаружено непосредственного влияния плавления на поведение давления отдачи. В большинстве случаев такое влияние действительно оказывается пренебрежимо малым. Как будет показано ниже, тем не менее, при некоторых условиях роль плавления в формировании давления отдачи является определяющей и может быть зарегистрирована экспериментально.

Изменение давления в среде, возникающее при квазистационар-

ном движении фронта плавления со скоростью v , определяется следующим выражением

$$p_m = \Delta \rho v^2, \quad \Delta \rho = \rho_s - \rho_l, \quad (1)$$

где $\Delta \rho$ есть скачок плотности на фронте плавления. Такой режим плавления осуществляется, например, при поглощении на поверхности образца излучения постоянной интенсивности I_0 в течение времени t

$$t < t_1 = \chi(L/I_0)^2, \quad (2)$$

где χ — температуропроводность жидкой фазы, L — теплота плавления в расчете на единичный объем.

В рассматриваемом приближении затраты на нагрев жидкой фазы остаются малыми по сравнению с подводимой энергией и скорость движения фронта плавления равна

$$v = I_0/L. \quad (3)$$

При этом предполагается, что начальная температура образца близка к температуре плавления. Из (1)–(3) следует, что величина давления p_m и время наблюдения t связаны соотношением

$$p_m t < \Delta \rho \chi. \quad (4)$$

Подчеркнем, что требование квазистационарности используется здесь только для упрощения оценок и не является необходимым условием для экспериментальной регистрации рассматриваемого эффекта. Вклад p_m в полное давление отдачи может оставаться основным и при $t \approx t_1$, когда затраты на нагрев жидкой фазы перестают быть малыми по сравнению с затратами на плавление, и соотношение (4) превращается в приближенное равенство. Подобное соотношение не является слишком жестким, если иметь в виду значения температуропроводности $\chi = 0,1 \text{ см}^2/\text{с}$ и скачка плотности $|\Delta \rho| = 0,4 \text{ г/см}^3$, которые характерны для многих металлов. Из условия малости v по сравнению со скоростью звука в облучаемом веществе следует также, что $t > 0,1 \text{ нс}$.

Основное ограничение на применимость предлагаемого метода связано с возрастанием при $t > t_1$ относительной роли давления p , которое возникает при тепловом расширении приповерхностного слоя жидкой фазы. Для относительной величины p/p_m при $v \approx \text{const}$

имеем

$$p/p_m = at/t_1, \quad a = \beta L/c\Delta\rho, \quad (5)$$

где β и c обозначают соответственно коэффициент объемного расширения и удельную теплоемкость жидкой фазы. Для таких элементов, например, как Al, Pb, Bi и Zn, значения безразмерного параметра $|a| = 0,1 \div 0,2$ оказываются достаточно малыми, что позволяет непосредственно регистрировать величину p_m вплоть до времен $t \approx t_1$ (напомним при этом, что $\Delta\rho < 0$ для Bi).

Таким образом, изложенный выше анализ показывает практическую реализуемость метода исследования динамики импульсного плавления посредством измерения давления отдачи в облучаемом веществе.

Поступила в редакцию
.6 июля 1979 г.

Л и т е р а т у р а

1. С. М. Surko, А. L. Simons, D. H. Auston, J. A. Golovchenko, R. E. Slusher, T. N. C. Venkatesan, Appl. Phys. Lett., 34, 635 (1979).