

## ТЕРМОУПРУГАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА

В. В. Аполлонов, А. И. Барчуков, В. К. Конюхов,  
А. М. Прохоров

Действие лазерного излучения на твердую мишень, сопровождающееся разрушением ее поверхности, выбросом и испарением материала, образованием плазмы неоднократно экспериментально изучалось. Такие явления характерны для лазерных импульсов большой мощности.

В настоящей работе описывается поведение поверхности твердого тела под действием непрерывного лазерного луча, при котором не происходит разрушения поверхности, но возникает искажение ее профиля за счет термоупругих деформаций. Теоретически задача о термоупругой деформации поверхности в различной постановке рассматривалась в [1 – 4].

В качестве источника излучения использовался одномодовый  $\text{CO}_2$ -лазер непрерывного действия с фиксированной мощностью  $P_0 = 14 \text{ вт}$ , работающий на моде  $\text{TEM}_{00q}$ . Распределение интенсивности в пучке аксиально симметрично и описывается гауссовой кривой  $I(r) = I_0 \exp(-2r^2/w^2)$ , где  $w$  – полуширина распределения,  $I(r)$  – плотность мощности лазерного излучения ( $\text{вт/см}^2$ ). Мишень представляла собой диск из плавленного кварца, диаметр которого 12 см и толщина 1,5 см достаточны, чтобы для процесса теплопередачи и механических деформаций была справедлива математическая модель упругого теплопроводного полупространства.

Нами экспериментально обнаружено, что под действием лазерного излучения в месте падения луча происходит выпучивание поверхности облучаемого тела. Лазерный интерферометрический контроль в сочетании с кинокамерой позволяет измерить во времени величину деформации в любой точке поверхности в зависимости от времени и размера зоны облучения. На рисунке представлена величина деформации  $V$  (мм) по нормали к поверхности в центре пучка в зависимости от времени облучения  $t$  (сек). Графически I, II, III соответствуют различной плотности лазерного луча для значений  $w = 0,35; 0,55; 0,65 \text{ см}$ .

Кривые показывают, что на начальном участке нагрева деформация  $V$  прямо пропорциональна времени облучения. Эта часть кривой описывается формулой

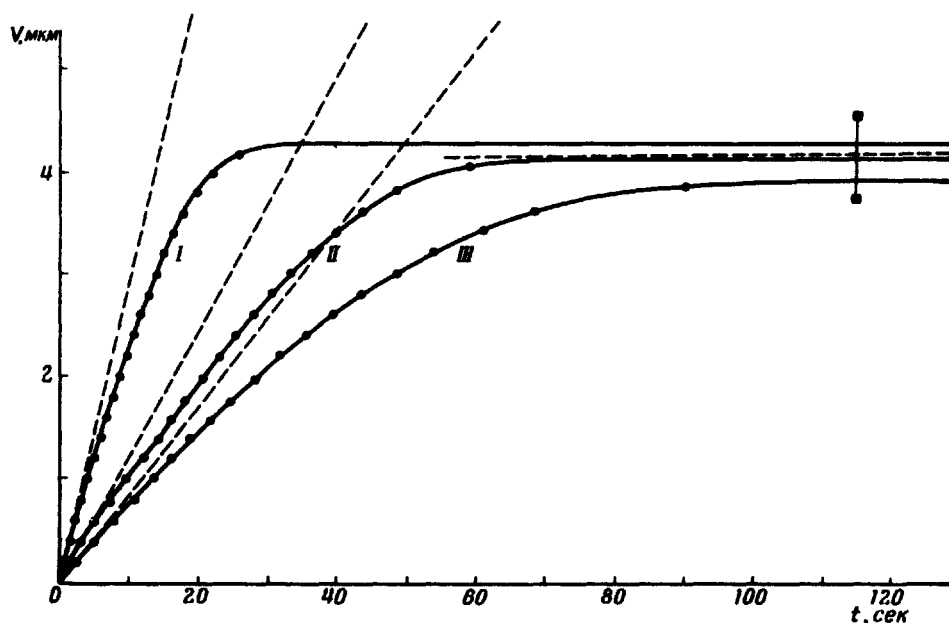
$$V = - (1 + \mu) \frac{\alpha I_0 \chi}{K} t, \quad (1)$$

которую можно получить, пренебрегая теплоотдачей с поверхности в квазистатическом приближении [2]. Здесь  $\mu$ ,  $\alpha$ ,  $\chi$ ,  $K$  – соответственно коэффициенты Пуассона, линейного расширения, температуропроводности, теплопроводности. Нормаль к поверхности направлена в глубь полупространства. Наклонные пунктирные прямые на рисунке вычислены по формуле (1).

При увеличении времени нагрева нормальные деформации  $V$ , соответствующие различной плотности лазерного луча, стремятся к некоторой конечной величине  $V_{\infty}$ , которая в пределах ошибок измерения одинакова для всех трех кривых. Этот участок кривой описывается формулой, которую возможно получить, исходя из [3],

$$V_{\infty} = - (1 + \mu) \frac{2\alpha P_0}{\pi K} . \quad (2)$$

Горизонтальная пунктирная прямая на рисунке вычислена по формуле (2), со значениями физических констант для плавленого кварца, взятых из [5].



Рассмотренное явление упругого выщупывания поверхности твердого тела (полупространства) под действием потока мощности излучения и его количественная оценка показывают, что данный эффект представляет несомненный интерес для приборов квантовой электроники, в тех случаях, когда поглощенная в отражателях энергия превышает некоторую величину, допустимую для конкретного прибора. Так например, при эксплуатации квазиоптической линии передачи [6], в которой фазовые корректоры представляли собой кварцевые подложки с кривизной поверхности  $\sim 12 \text{ м}$ , покрытые пленкой золота (коэффициент отражения  $\sim 98\%$ ) при уровне передаваемой мощности в пучке  $\sim 700 \text{ вт}$  наблюдалась полная расстройка линии через несколько секунд ее работы. Расчет показал, что радиусы кривизны зеркал-корректоров этой линии изменялись, примерно, в полтора раза, что приводило к полной деградации структуры передаваемого пучка.

Авторы благодарны Ф.В.Бункину и **В.И.Даниловской** за ценные дискуссии.

Физический институт  
им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
21 января 1972 г.

### Литература

- [ 1 ] В.В.Болотин. Труды конференции по теории пластин и оболочек, Казань, 1961.
  - [ 2 ] В.И.Даниловская, Э.М.Шефтер. ФХОМ, №3, 1969, стр. 13.
  - [ 3 ] I.L.Bailey. A thermoelastic problem in half  $\approx$  space. Michigan State University, 1958.
  - [ 4 ] И.Д.Киль. Инженерный журнал. Механика твердого тела, №1, 1966, стр. 140.
  - [ 5 ] Е.М.Воронкова, Б.Н.Гречушников, Г.И.Дистлер, И.П.Петров. Оптические материалы для инфракрасной техники. М., Изд. Наука, 1965.
  - [ 6 ] А.И.Барчуков, Ю.Б.Конев, А.М.Прохоров, В.С.Терин. Радиотехника и электроника, 16, 996, 1971.
-