

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОРОГА ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

В. П. Вейжо, Г. В. Дрейден, Ю. П. Острозский, И. В. Семенова, Е. А. Шагно

Введение

Энергетический порог разрушения материалов q_n является важнейшим параметром любого процесса лазерной технологии. Определение энергетического порога разрушения, как правило, основывается либо на визуальной или оптической регистрации повреждения поверхности, либо на появлении светящегося факела продуктов разрушения. Большинство этих способов субъективны и не позволяют точно определить начало структурных изменений облучаемого материала. Достаточно точный метод измерения порога разрушения [1] известен только для пленочных покрытий, которые наносят на датчик пьезоэлектрического резонатора, и о пороге разрушения пленки судят по началу изменения резонансной частоты.

В настоящей работе предлагается альтернативный метод определения энергетического порога лазерного разрушения поверхности твердого тела, применимый для исследования образцов любой толщины.

Сущность метода

Метод основан на явлении возбуждения ударной волны в среде, окружающей образец, при воздействии на него импульсным лазерным излучением. При воздействии на твердое тело лазерного излучения с плотностью мощности, меньшей порогового значения $q < q_n$,

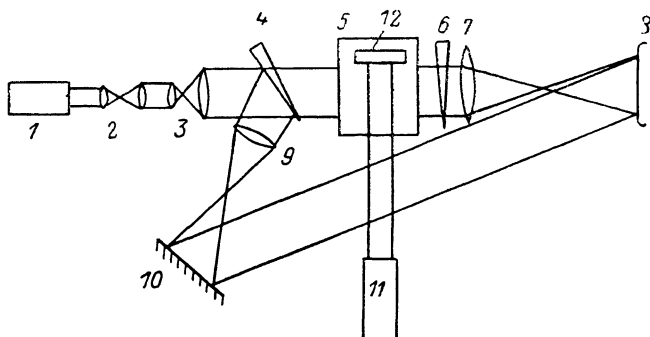


Рис. 1.

в окружающей среде возникают акустические возмущения, обусловленные быстрым тепловым расширением приповерхностного слоя (фотоакустический эффект). При этом увеличение плотности мощности излучения до значения q_n вызывает монотонный рост интенсивности акустической волны. Разрушения поверхности образца при этом не происходит.

После достижения порогового значения плотности мощности ($q \geq q_n$) происходит взрывное испарение материала, т. е. разрушение поверхности образца. При этом дополнительно включается новый механизм возбуждения акустических и ударных волн за счет испарительного давления и интенсивность волны резко возрастает.

Предлагаемый метод измерения энергетического порога основан на регистрации резкого увеличения интенсивности ударной волны при медленном изменении плотности мощности лазерного излучения.

Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Для воздействия на образец использовался импульсный рубиновый лазер ОГМ-20 11 ($\lambda = 0.694$ мкм, энергия в импульсе $E = 0.4$ Дж, длительность импульса $\tau = 15 - 20$ нс). Исследуемый образец 12 помещался в кювету с водой 5. Регистрация ударной волны в воде производилась методом голографической интерферометрии. Интерферограммы регистрировались следующим образом. Излучение от лазера ОГМ-20 1 расширялось телескопическими системами 2 и 3. Отраженный от клина 4 пучок объективом 9 и зеркалом 10 направлялся в плоскость регистрации голограммы 8.

Таким образом формировался опорный пучок. Предметный пучок, прошедший через клин 4, направлялся через кювету с водой 5. Объектив 7 служил для оптического сопряжения плоскости голограммы и объекта. Клин 6 использовался для регистрации голографических интерферограмм в полосах конечной ширины, для чего он поворачивался между двумя экспозициями на небольшой угол вокруг оптической оси.

Определение порогов разрушения

При экспериментальном определении порогов разрушения различных материалов плотность мощности лазерного излучения изменялась либо путем изменения накачки лазера, либо путем установки фильтров на пути лазерного пучка. При постепенном увеличении энергии

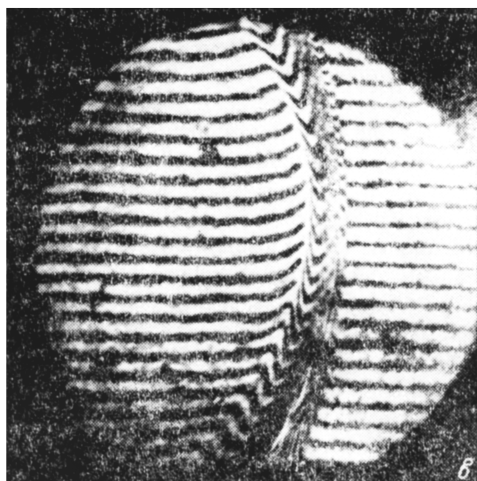
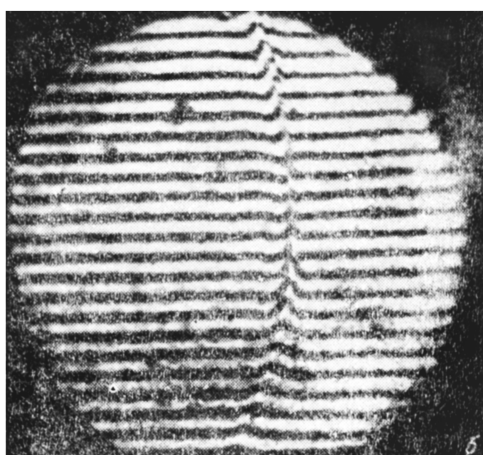
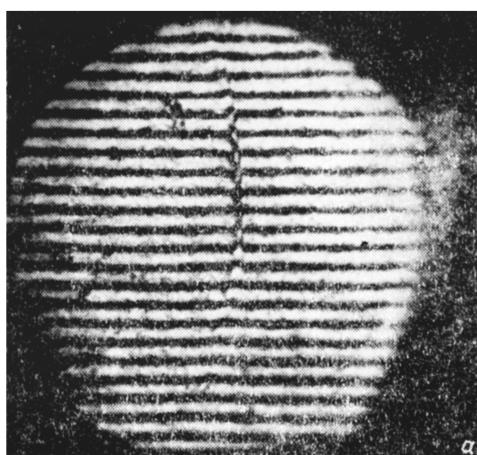


Рис. 2. Голографические интерферограммы ударной волны в воде при разных уровнях плотности мощности лазерного излучения.
 $a - 2.8 \cdot 10^8$, $b - 3.0 \cdot 10^8$, $в - 6.2 \cdot 10^8$ Вт/см².

регистрировалась серия интерферограмм ударной волны, образующейся при воздействии лазерного излучения на материал, одновременно измерялась энергия лазерного излучения, соответствующая каждой интерферограмме. Энергетический порог разрушения материала определялся визуально по резкому увеличению интенсивности ударной волны.

На рис. 2, $a - в$ представлены интерферограммы ударных волн, образующихся при воздействии лазерного излучения с различной плотностью мощности на алюминированную пленку, погруженную в воду. Из сравнения интерферограмм a и b видно, что при небольшом ($\sim 7\%$) увеличении плотности мощности лазерного излучения наблюдается резкое увеличение интенсивности ударной волны. Таким образом, порог разрушения пленки близок к значению плотности мощности лазерного излучения, соответствующей интерферограмме рис. 2, b .

В экспериментах по определению энергетического порога разрушения поверхности образцов, помещенных в кювету с водой, были использованы различные материалы. Изме-

ренные пороговые плотности мощности излучения составили для алюминированной пленки $3 \cdot 10^8$ Вт/см², для полированного бруска алюминия $3 \cdot 10^8$ Вт/см², для неполированного бруска латуни $4 \cdot 10^8$ Вт/см².

Оптическая регистрация акустических и ударных волн не является единственно возможной. Существенное упрощение метода может быть достигнуто при использовании пьезодатчиков, помещенных в кювету вблизи образца.

Таким образом, настоящий способ позволяет достаточно просто определять энергетический порог разрушения различных материалов. Важнейшим его преимуществом является возможность исследования образцов любой толщины. Кроме того, вследствие сильной (экспоненциальной) зависимости скорости испарения материала, а следовательно, и интенсивности ударной волны от плотности мощности лазерного излучения возможно достижение более высокой, чем в других методах, точности измерения порога разрушения.

Список литературы

- [1] Вейко В. П., Банков В. Н., Либенсон М. Н., Юркевич Б. М. Способ определения энергетического порога разрушения материала под действием концентрированного потока энергии. А. С. 635414. БИ. 1978. № 44.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
21 марта 1989 г.

В окончательной редакции
23 июня 1989 г.

01; 10

Журнал технической физики, т. 60, в. 4, 1990

© 1990 г.

МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ВО ВНЕШНИХ ПОЛЯХ

Ю. Г. Безродный, О. В. Мануйленко

Интерес к интенсивным потокам заряженных частиц связан с широким применением их в различных областях науки и техники: в ускорителях, ионно-плазменной технологии, управляемом термоядерном синтезе и др.

Учет пространственного заряда пучка и сложная конфигурация ускоряюще-фокусирующих систем реальных приборов приводит к необходимости использования численных методов при расчете характеристик пучка. Распространенными методами численного решения задач данного класса являются методы «крупных частиц» и «трубок тока». При использовании метода «крупных частиц» плотности пространственного заряда и тока определяются траекториями частиц, а распределение плотности заряда в «крупной частице» задается априорно [1]. В методе «трубок тока» траектории частиц, покидающие одну точку эмиттера в различные моменты времени, объединяются в трубку тока, полный ток в которой считают постоянным. Это приводит к более простым алгоритмам определения плотности пространственного заряда [2].

В данной работе предложен метод вычисления плотности пространственного заряда непосредственно по кинематическим характеристикам аксиально-симметричного потока заряженных частиц. Метод применим в стационарном и в нестационарном случаях. Приводятся алгоритмы решения стационарной задачи и результаты расчета движения заряженных частиц в инжекторе линейного ускорителя многозарядных ионов (ЛУМЗИ).

Рассмотрим задачу о расчете характеристик пучка заряженных частиц во внешнем электромагнитном поле. Исходная система состоит из уравнений Максвелла и уравнения движения заряженных частиц в электрическом и магнитном полях [3]

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{V} / \partial t, \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{j} + \epsilon_0 \partial \mathbf{E} / \partial t), \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0, \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad (4)$$

$$m d\mathbf{V} / dt = e (\mathbf{E} + [\mathbf{V}, \mathbf{B}]), \quad (5)$$