

07;12

Искривление канала лазерного разрушения, обусловленное поляризацией излучения

© Г.М. Михеев

Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск

Поступило в Редакцию 29 мая 1996 г.

В работе сообщается о наблюдении существенного искривления канала лазерного разрушения в металле и взаимосвязи этого явления с поляризацией излучения.

Известно, что при достаточно больших мощностях возможно прохождение лазерного излучения через вещество за счет его удаления из зоны расплава в результате испарения и гидродинамических эффектов [1]. При этом формируется узкий канал разрушения материала вдоль оси луча лазера, даже если угол падения луча на поверхность вещества отличен от нуля. Однако в некоторых случаях при нормальном падении луча на поверхность наблюдалось отклонение осевой линии канала (кратера) от нормали к поверхности [2,3]. Обычно это объясняется погрешностями юстировки соосности лазерного луча и оптической системы [4]. Влияние поляризации не рассматривалось.

Целью данной работы является демонстрация возможности существенного искривления канала разрушения в металле, получаемого при нормальном падении лазерного излучения на его поверхность, и установление взаимосвязи этого явления с поляризацией излучения.

В [4] обсуждалось влияние поляризации излучения на скорость и качество лазерной резки. При перемещении материала относительно луча лазера образуется срез, нормаль к поверхности которого составляет с падающим лучом угол α (см. рис. 1, *a*). Отражательная способность поверхности при ее обработке плоскополяризованным лучом зависит от оптических свойств материала, угла падения луча, угла между плоскостью поляризации и плоскостью падения. Пусть R_p и R_s — коэффициенты отражения p — составляющей поляризации, лежащей в плоскости падения луча, и s -составляющей поляризации, перпендику-

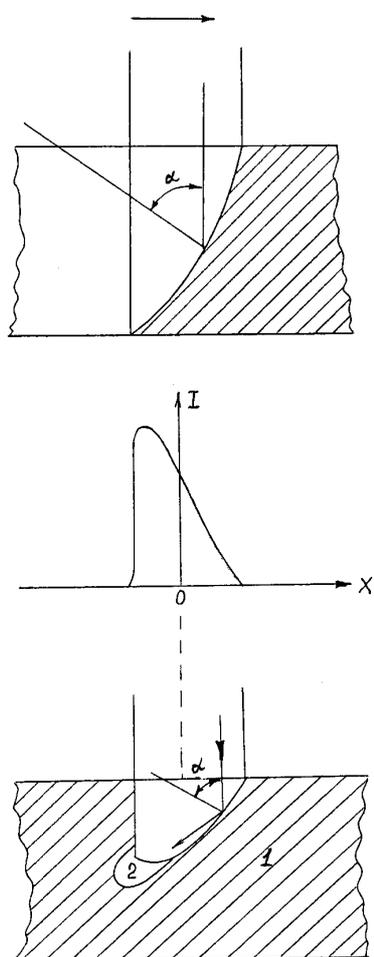


Рис. 1. Схема резки металла лучом лазера (стрелкой показано направление перемещения пучка относительно образца) (а); пример возможного несимметричного распределения интенсивности излучения лазера I вдоль диаметра пучка (вдоль оси OX) (б) и соответствующая форма продольного сечения кратера, возможного на начальном этапе взаимодействия с материалом (в), где 1 — основной металл, 2 — зона металла, которая будет удалена за счет переотраженных лучей.

лярной к плоскости падения луча, соответственно. В соответствии с [4] на длине волны $\lambda = 10.6$ мкм для железа при комнатной температуре отношение R_s/R_p стремится к единице при α , стремящемся к нулю, и существенно возрастает при отклонении α от нуля. Следовательно, при совпадении плоскостей резки и поляризации луча поглощенная мощность (значит, и эффективность резки) существенно больше, чем при перпендикулярности плоскостей среза и поляризации. Аналогично этому поляризация излучения лазера может значительно проявиться и при формировании канала разрушения. Для этого рассмотрим простейшую модель. Предположим, что распределение интенсивности излучения I по сечению пучка несимметрично и имеет резко выраженный максимум при $x < 0$ (рис. 1, б). Очевидно, что при падении такого луча нормально к поверхности материала на начальном этапе взаимодействия излучения с веществом возможно возникновение кратера, форма продольного сечения которого определяется зависимостью $I(x)$ (рис. 1, в). На последующем временном этапе взаимодействия лучи пучка, соответствующие зоне меньшей интенсивности, будут переотражаться в сторону геометрической оси пучка (рис. 1, в). В соответствии с вышеизложенным эффективность такого переотражения зависит от поляризации излучения. Если излучение поляризовано в плоскости падения, то коэффициент отражения мал, а поглощение велико. Следовательно, форма продольного сечения кратера не будет меняться. Если же излучение поляризовано в плоскости, перпендикулярной плоскости падения, то эффективность отражения высокая, а поглощение излучения мало. Это приводит к тому, что переотраженные лучи будут взаимодействовать с противоположной стенкой кратера и вызывать тем самым искривление канала разрушения (рис. 1, в) в сторону максимума интенсивности. Естественно, что реальная картина взаимодействия гораздо сложнее.

При проведении экспериментов использовалось линейно поляризованное импульсное излучение YAG:Nd³⁺-лазера. Длительность импульса составляла 4 мс, максимальная энергия в импульсе — 10 Дж. Излучение фокусировалось линзой с фокусным расстоянием 0.1 м на поверхность образцов из алюминиевого сплава 1420 в виде прямоугольного параллелепипеда, помещенных в рабочую камеру при давлении 20 Па. При этом луч был направлен вдоль нормали к поверхности исследуемого металла, совпадающей с осью Z декартовой системы координат XYZ (рис. 2, б). Распределение интенсивности излучения по сечению пучка

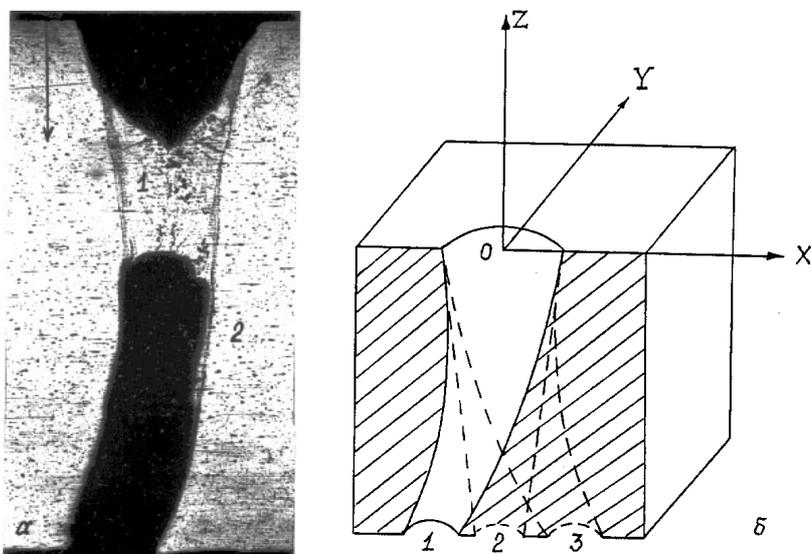


Рис. 2. Экспериментально полученная форма продольного сечения канала лазерного разрушения (а) (1 — заплавленная часть канала, 2 — основной металл; стрелкой показано первоначальное направление луча; увеличение $\times 37$) и пространственное расположение образца относительно декартовой системы координат XYZ (б), где профиль 2 соответствует симметричному распределению излучения относительно оси пучка лазера, профили 1 (3) — несимметричным распределениям, когда наибольшая мощность пучка сосредоточена в области $X < 0$ ($X > 0$).

варьировалось с помощью специальных масок, помещаемых на пути света до фокусирующей линзы. Выбор типа лазера для исследований определялся тем, что в отличие от излучения CO_2 -лазеров поляризацией излучения YAG:Nd^{+3} -лазера легко управлять с помощью полуволновых и четвертьволновых пластин. Необходимо отметить, что сплав 1420, легированный литием и магнием, из-за своей сравнительно низкой теплопроводности ($83 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ при 573 К) выгодно отличается от других типов алюминиевых сплавов тем, что он в большей степени поддается лазерному разрушению при меньших мощностях импульсного излучения. Энергетическое воздействие в разреженной атмосфере про-

изводилось с целью избавления влияния плазмы горения материала на эффективность лазерного разрушения.

На рис. 2, а представлена типичная форма продольного сечения канала лазерного разрушения материала в плоскости XOZ . При этом воздействие осуществлялось излучением, поляризованным в плоскости YOZ (рис. 2, б). Видно существенное искривление канала распространения излучения. Отклонение луча от первоначального направления доходит до 30° . При этом угол падения излучения на поверхность кратера меняется от 86 до 60° , а значение $R_s(\alpha)$ и $R_p(\alpha)$ для алюминия, рассчитанные по известным формулам [5], уменьшаются по разным законам. При уменьшении α от 90° R_s убывает от 1 монотонно, причем $R_s(\alpha = 80^\circ) = 0.97$, $R_s(\alpha = 0^\circ) = 0.83$, в то время как $R_p(\alpha)$ имеет минимум, равный 0.58 при $\alpha = 80^\circ$, а затем возрастает до 0.83 при $\alpha = 0^\circ$. Таким образом, в окрестности $\alpha = 80^\circ$ различие между R_s и R_p максимально, оно остается существенным и при $\alpha = 86^\circ$, где $R_s = 0.99$, $R_p = 0.68$. Эксперименты показали, что максимальное отклонение луча от первоначального направления наблюдается в плоскости, перпендикулярной плоскости поляризации света. В плоскости искривления XOZ его направление зависит от асимметрии распределения интенсивности излучения по оси X . Искривление наблюдается в том направлении от геометрической оси пучка, где сосредоточена наибольшая мощность излучения. Плоскость искривления определяется только направлениями поляризации и распространения излучения и не может быть изменена варьированием распределения мощности по поперечному сечению пучка и пространственной переориентацией исследуемого образца.

Список литературы

- [1] Арутюнян Р.В., Баранов В.Ю., Большов Л.А. и др. Воздействие лазерного излучения на материалы. М.: Наука, 1989. 367 с.
- [2] Рэди Дж. Действие мощного лазерного излучения. М.: Мир, 1974. 468 с.
- [3] Кушнир С.Х., Кияк Б.Р., Мацко М.Г. // Укр. физ. журн. 1990. Т. 17. № 12. С. 1796–1801.
- [4] Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зувев И.В., Кокора А.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 495 с.
- [5] Кизель В.А. Отражение света. М.: Наука, 1973. 351 с.