

## НЕКОТОРЫЕ ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МЕТАЛЛОМ

Б. М. Жиряков, А. К. Фаннибо, Н. Н. Юрышев

(Москва)

Известно [1], что у некоторых сплавов зона кратера, образованного лучом лазера обладает «сверхвысокой» твердостью, получить которую другими методами не удается (для малоуглеродистой стали она достигает  $1500 \text{ кг/мм}^2$ ). Было высказано предположение [2], что это явление может быть объяснено тепловым воздействием на кристаллы при выделении энергии светового луча.

Ниже описываются эксперименты по взаимодействию лазерного импульса с металлами, которые подтверждают представление о взрывном характере разрушения последних. Предлагается гипотеза, объясняющая механизм появления зон «сверхвысокой» твердости в районе разрушения деформационными процессами, близкими к высокотемпературному наклепу.



Фиг. 1

1. Излучение твердотельного лазера, работающего в режиме свободной генерации, имеет сложную структуру и состоит из набора большого (порядка  $10^2$ ) числа хаотически возникающих коротких ( $5 \cdot 10^{-7} - 10^{-6} \text{ сек}$ ) импульсов, так называемых пичков. Средний интервал их следования равен одной или нескольким  $\text{мксек}$  [3].

2. В эксперименте использовался лазер, где активным элементом служил стержень из синтетического рубина длиной 120 и диаметром 12 мм. Длина волны генерации  $6943 \text{ \AA}$ . Оптическая накачка осуществлялась импульсной ксеноновой лампой типа ИФПП-7000. Суммарная выходная энергия лазерного излучения составляла около 10 Дж при длительности импульса  $1 \cdot 10^{-3} \text{ сек}$ .

3. Луч собирался линзой с фокусным расстоянием, равным 56 мм, на поверхность иодидного циркония. В результате воздействия лазерного луча в металле образовывался кратер, имеющий форму конуса. Диаметр воронки у поверхности равнялся примерно 1 мм, глубина ее доходила до 5 мм.

4. Обнаружено, что микротвердость в зоне кратера резко возрастала и достигала  $650 \text{ кг/мм}^2$ , тогда как в исходном материале она составляет  $150 \text{ кг/мм}^2$ .

Образец подвергался лазерному облучению как при атмосферном давлении, так и в вакуумной камере при давлении  $5 \cdot 10^{-5} \text{ мм рт. ст.}$ . Заметного различия в результатах не наблюдалось.

5. Процессы, протекающие при взаимодействии лазерного излучения с образцами, изучались при помощи скоростного фоторегистратора «СФР-1» [4] с использованием пленки типа МЗ чувствительностью 65 единиц ГОСТ. Щель фоторегистратора располагалась параллельно оси факела, что позволяло фотографировать продукты взаимодействия при непрерывной развертке в направлении, перпендикулярном их движению. Характерная регистраграмма начала процесса представлена на фиг. 1. Скорость развертки равна  $15000 \text{ об/мин}$ .

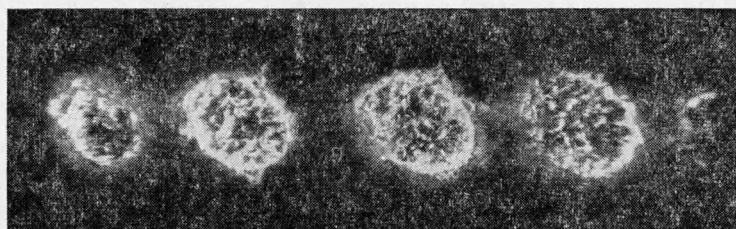
Видно, что изучаемый процесс имеет дискретный и нерегулярный характер. Сначала вещество мишени уносится в газообразной форме (плазма); через некоторое время можно наблюдать и жидкую фазу. При этом плазма выбрасывается не непрерывно, а в виде отдельных ярких факелов высотой до 15 мм, временной интервал между которыми имеет порядок  $10^{-6} \text{ сек}$ , что соответствует периоду следования пичков. Сравнение регистраграммы с осциллограммой излучения лазера позволяет идентифицировать эти процессы.

Можно считать, что каждый отдельный пичок действует на материал как независимый микроимпульс, образуя свой микрократер, плазменный выброс и другие эффекты. Такое предположение подтверждает следующий эксперимент. На ось высокооборотного эл. электродвигателя был насажен металлический диск диаметром 100 мм. При скорости

вращения, равной 25 000 об/мин, измеренной при помощи строботометра «МЭИ», появилась возможность развернуть зону воздействия лазерного луча в дугообразную линию длиной до 100 мм. След импульса при этом имеет вид цепочки отдельных кратеров площадью от  $10^{-3}$  до  $10^{-4}$  см<sup>2</sup>. Расстояние между ними соответствует частоте следования пачков (фиг. 2).

Обработка регистрограммы дает значение времени выброса вещества, а значит, и времени образования микрократера, порядка от  $10^{-7}$  до  $10^{-8}$  сек.

6. Так как средняя энергия одного пачка у нас составляет 0.1 дж, то плотность потока энергии в месте фокусировки достигает  $10^{16}$  эрг/см<sup>2</sup> сек. Как показывают оценки, такие плотности энергии соответствуют давлениям порядка  $10^6$  ат. Аналогичные результаты приводятся и другими авторами [5].



Фиг. 2

7. Изложенное позволяет представить себе процесс взаимодействия следующим образом. За времена порядка от  $10^{-7}$  до  $10^{-8}$  сек заметного отвода тепла в металл за счет теплопроводности не происходит. Механизм испарения также не может обеспечить полного уноса тепла от мишени. Избыточная энергия локализуется в области фокуса линзы. Зона поглощения испытывает воздействие очень короткого импульса высокого давления, поэтому большая часть поглощенной энергии выделяется в виде взрыва, сопровождающегося образованием кратера и уносом вещества в виде плазмы и жидкой фазы. Изменение микротвердости в зоне кратера характерно именно для образцов, нагруженных взрывом [6], когда твердость максимальна на поверхности воздействия, а затем резко убывает.

8. Подобный характер разрушения металла позволяет объяснить факт аномального повышения твердости металла в зоне, непосредственно прилегающей к кратеру, образованному световым лучом.

Можно полагать, что механизм этого явления до некоторой степени аналогичен высокотемпературному наклепу [7] с той лишь разницей, что при обычных условиях образования такого наклепа труднодостижимы столь высокие давления и скорости нагрева и охлаждения, как это имеет место в описываемых экспериментах.

В заключение авторы благодарят Н. В. Боркова — за обсуждение работы и В. А. Журавлева — за помощь в эксперименте.

Поступила 13 III 1967

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянова Т. М., Миркин Л. И., Пилипецкий Н. Ф., Рустамов А. Р. Действие интенсивных световых пучков на поверхность металла. ПМТФ, 1965, № 6.
2. Аверьянова Т. М., Миркин Л. И., Пилипецкий Н. Ф. Действие светового луча на дислокационную структуру кристаллов. ПМТФ, 1966, № 1.
3. Лейдбел Б. Лазеры Изд. «Мир», 1964.
4. Дубовик А. С. Фотографическая регистрация быстротекущих процессов. Изд-во «Наука», 1964.
5. Анисимов С. И., Бонч-Бруевич А. М., Ельяшевич М. А., Имас Я. А., Павленко Н. А., Романов Г. С. Действие мощных световых потоков на металлы. Ж. техн. физ., 1966, № 7.
6. Райнхарт Дж., Пирсон Дж. Поведение металлов при импульсных нагрузках. Изд. иностр. лит., 1960.
7. Гуляев А. П. Металловедение. Изд. «Металлургия» 1966.