

3. Альтшулер Л. В., Крупников К. К., Леденев Б. Н., Жучихин В. И., Бражник М. И. Динамическая сжимаемость и уравнение состояния железа при высоких давлениях. ЖЭТФ, 1958, т. 34, вып. 4.
4. Альтшулер Л. В., Крупников К. К., Бражник М. И. Динамическая сжимаемость металлов при давлениях от четырехсот тысяч до четырех миллионов атмосфер. ЖЭТФ, 1958, т. 34, вып. 4.
5. Альтшулер Л. В., Кормер С. Б., Баканов А. А., Трунин Р. Ф. Уравнение состояния алюминия, меди и свинца для области высоких давлений. ЖЭТФ, 1960, т. 38, вып. 3.
6. Альтшулер Л. В., Кормер С. Б., Бражник М. И., Владимиров Л. А., Сперанская М. П., Фунтиков А. И. Изэнтропическая сжимаемость меди, свинца, железа при высоких давлениях. ЖЭТФ, 1960, т. 38, вып. 4.
7. Жарков В. Н., Калинин В. А. Уравнение состояния железа до давления в несколько миллионов атмосфер. Докл. АН СССР, 1960, т. 135, № 4.
8. Мак-Куин Р., Марш С. Уравнение состояния девятнадцати металлических элементов по ударноволновым измерениям до 2 М/бар. Динамические исследования твердых тел при высоких давлениях, М., «Мир», 1965.
9. Bancroft D., Peterson E. L., Minshall F. S. Polymorphism of iron at high pressure. J. Appl. Phys., 1956, vol. 27, No. 3.
10. Walsh J. M., Rice M. N., McQueen R. G., Jarger E. L. Shock-wave compressions of twenty-seven metals. Equations State Metals, Phys. Rev., 1957, vol. 108, No. 2.

**ОБРАЗОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН
ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В РЕЖИМЕ УПОРЯДОЧЕННОЙ
ГЕНЕРАЦИИ НА ПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ**

В. К. Гончаров, Л. Я. Минько

(Минск)

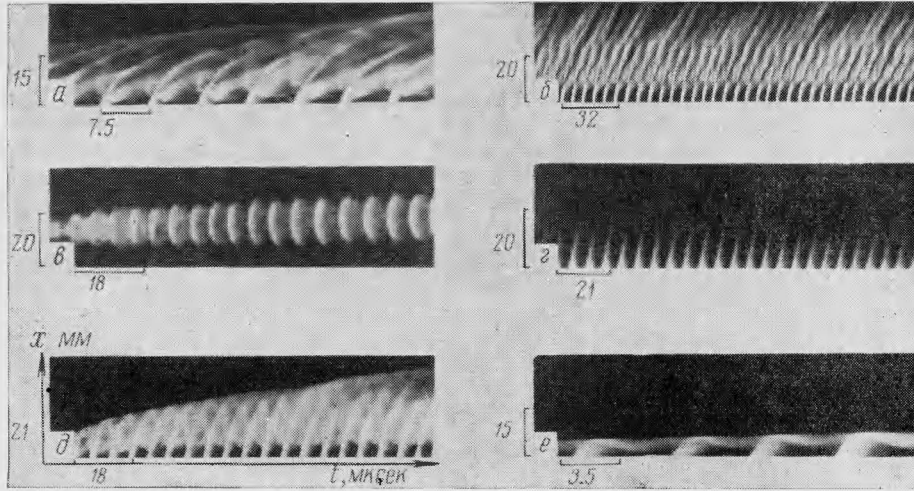
На возможность образования движущихся ударных волн при лазерном воздействии в режиме свободной генерации на металлы указывалось в работе [1]. Однако при хаотической генерации воздействующего лазерного излучения не представляется возможным надежно обнаружить ударные волны и изучить механизм их образования и характер распространения, знание которых необходимо для понимания всей совокупности явлений, сопровождающих лазерное воздействие на поглощающие материалы. С этой целью был выбран режим упорядоченной генерации, позволяющий получать относительно однородные импульсы излучения с достаточным временным интервалом. Применялся неодимовый лазер, обеспечивающий энергию излучения до 150 дж. Для получения упорядоченного режима генерации использовался резонатор типа плоскость — сфера; сферическое зеркало ($R = 2.5$ м) имело максимальный коэффициент отражения, плоское — 20%. Лазер позволял получать серию импульсов излучения скважностью 6 и длительностью каждого импульса 1 мксек. Длительность генерации лазера составляла 700 мксек. Фокусировка излучения на поглощающие материалы (металлы и непрозрачные диэлектрики) осуществлялась линзой с $F = 100$ мм в пятно диаметром ~ 2.5 мм. Плотность потока излучения с учетом скважности импульсов достигала $\sim 10^7$ вт/см². Исследования проводились при атмосферном и пониженном ($\sim 10^{-2}$ мм рт. ст.) давлениях методом высокоскоростной фотографической развертки при продольном и поперечном расположении щели фоторегистратора относительно образующегося плазменного потока.

На продольных и поперечных фоторазвертках плазменных потоков, образующихся при лазерном воздействии на поглощающие материалы (например, латунь ЛС-59; фиг. 1, а—в, д), прежде всего обращает на себя внимание серия последовательных фронтов свечения, соответствующих отдельным импульсам воздействующего лазерного излучения.

Скорость распространения этих фронтов с удалением от поверхности уменьшается (фиг. 2). Они представляют собой движущиеся ударные волны. Как известно, ударная волна образуется при условии, когда давление в окружающей среде меньше давления в движущемся поршне.

Действительно, эрозионная плазма, образующаяся при воздействии каждого последующего импульса излучения, движется в относительно разреженной среде,

созданной каждым предыдущим плазменным сгустком, и выполняет роль поршня при образовании ударной волны. Особенностью движущихся последовательных ударных волн является то, что они образуются и распространяются не в окружающем воздухе (он вытесняется первыми плазменными сгустками), а в парах материала ми-

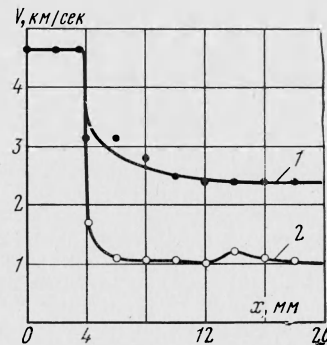


Фиг. 1. Фрагменты фоторазверток процесса свечения, сопровождающего лазерное воздействие на латунь ЛС-59 ($q \sim 5 \cdot 10^6 \text{ вт/см}^2$); а, б, д — продольные фоторазвертки (давление окружающего воздуха $p = 1 \text{ атм}$); е — поперечная фоторазвертка ($p = 1 \text{ атм}$); з — продольная фоторазвертка ($p = 5 \cdot 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$); е — продольная фоторазвертка процесса столкновения плазменной струи с преградой ($p = 1 \text{ атм}$, удаление преграды от мишени 6 мм)

шени, созданных предыдущими импульсами излучения. При этом фронт каждой из последовательных ударных волн до неподвижного скачка уплотнения, образующегося в плазменном сгустке вследствие сверхзвукового истечения в условиях недорасширения [2], совпадает с фронтом свечения сгустка (фиг. 1, а, б). Ударная волна явно обнаруживает себя на продольных фоторазвертках за неподвижным скачком уплотнения при вхождении в плазму, созданную предыдущими импульсами излучения, по периодическому увеличению свечения. При этом она имеет большую скорость, чем плазменный сгусток (фиг. 2), скачкообразно уменьшаящую свою скорость в неподвижном скачке уплотнения. Наблюдаемое увеличение скорости распространения плазменного сгустка (фиг. 2) связано с его подогревом в ударной волне от последующего импульса излучения.

При пониженном давлении ($5 \cdot 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$) образуется серия последовательных ударных волн, скорость которых почти не изменяется с удалением от поверхности (фиг. 1, з). Как показывают спектроскопические исследования, ударнонагретая плазма остаточного воздуха отсутствует, а ударные волны образуются, как и в случае лазерного воздействия при атмосферном давлении, в парах материала мишени, созданных предыдущими импульсами излучения.

Подтверждением существования последовательных ударных волн при лазерном воздействии в режиме упорядоченной генерации на поглощающие материалы является наличие в начале воздействия отраженных от границы воздух — плазма ударных волн, взаимодействующих с падающими ударными волнами (фиг. 1, д). Были проведены исследования по отражению ударных волн от преграды (стеклянной пластинки), располагавшейся на различных расстояниях от поверхности мишени. На



Фиг. 2. Изменение скорости распространения ударных волн (1) и плазменных сгустков (2) с удалением от поверхности мишени ($q \sim 5 \cdot 10^6 \text{ вт/см}^2$, $p = 1 \text{ атм}$, материал — латунь ЛС-59)

фиг. 1, *е* представлена типичная фоторазвертка процесса столкновения, на которой отчетливо видны отраженные ударные волны.

На продольных фоторазвертках процесса свечения (фиг. 1, *а, б*) наблюдаются четко выраженные вертикальные полосы, которые указывают на дополнительный разогрев плазмы, образующейся при воздействии предыдущих импульсов излучения, последующими импульсами; в результате происходит частичная экранировка поверхности мишени от воздействия лазерного излучения. С развитием процесса происходит накопление плазменных сгустков, и экранировка поверхности усиливается. На фоторазвертках это наблюдается как периодическое «вспыхивание» плазменных сгустков (фиг. 1, *б*). В некоторых случаях вследствие поглощения излучения во фронте движущейся ударной волны от этой зоны в сторону мишени распространяется фронт свечения, представляющий собой, по-видимому, ударную волну (фиг. 1, *а*), которая взаимодействует со встречными ударными волнами и плазменными сгустками.

Авторы благодарят М. А. Ельяшевича за интерес к работе.

Поступила 2 XI 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев Ю. В., Басов Н. Г., Крохин О. Н., Морачевский Н. В., Склизков Г. В. Исследование газодинамических процессов, возникающих при испарении твердого вещества под действием излучения лазера. *Ж. техн. физ.*, 1969, т. 39, вып. 5.
2. Баканович Г. И., Гречихин Л. И., Минько Л. Я. Возбуждение спектров испускания с помощью оптического квантового генератора. В кн. «Прикладная спектроскопия», т. 1, М., «Наука», 1969, стр. 95.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛНЫ НАПРЯЖЕНИЙ СО СТАЦИОНАРНОЙ МАКРОТРЕЩИНОЙ В УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ И КВАЗИХРУПКИХ МАТЕРИАЛАХ

*Ш. Г. Володарская, И. С. Гузь, И. А. Буткин,
В. М. Финкель*

(Новокузнецк)

Поведению материала при динамических нагрузках посвящается большое число публикаций, например, исследованы влияния скорости деформации на механические свойства металлов [1, 2], запаздывание текучести при кратковременных нагрузках [3], зависимость напряжений от скорости деформации [4, 5], а также влияние динамического нагружения на статистические свойства металлов.

В данной работе приводятся некоторые результаты исследования поляризационно-оптическим методом в сочетании со скоростной киносъемкой поля напряжений в окрестности стационарной макротрещины при воздействии на нее волны напряжений.

Исследование проводится на полимерах. Экспериментально установлено явление дифракции волны сжатия у вершины стационарной макротрещины. Дифрагировавшая волна распространяется навстречу основной по противоположному берегу трещины. Концентрация напряжений определяется углом ввода волны на плоскость трещины. Наибольшая концентрация напряжений возникает при минимальных углах падения волны; это означает, что основную роль в формировании поля напряжений в вершине трещины играют смещения частиц среды, направленные вдоль трещины.

1. Описание экспериментов. Схема установки, на которой проводились эксперименты, показана на фиг. 1. На этой схеме 1 — импульсный источник света, 2 — конденсорная линза, 3 — поляризатор, 4 — четвертьволновая пластинка, 5 — образец, 6 — подводные электроды, 7 — труба с водой, 8 — четвертьволновая пластинка, 9 — анализатор, 10 — объектив кинокамеры, 11 — взрывающаяся проволока, 12 — высоковольтный выпрямитель, 13 — линия задержки, 14 — высоковольтный выпрямитель, 15 — кинокамера СФР-1. При помощи двух высоковольтных выпрямителей конденсаторы заряжаются через зарядные сопротивления R_1, R_2 . Величина зарядного напряжения регулируется при помощи автотрансформаторов по приборам K_1, K_4 . После зарядки конденсаторов C_1, C_2 до напряжения источника (контроль осуществляется при помощи киловольтметров K_2, K_3) включается скоростная кинокамера СФР-1. Подачей высоковольтного импульса с пульта управления пробивается разрядник P .